UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ELISA RIBEIRO OLIVEIRA

CINZA VEGETAL E COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO DE PLANTULAS DE *Jacaranda cuspidifolia* Mart.

RONDONÓPOLIS - MT
Setembro de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ELISA RIBEIRO OLIVEIRA

CINZA VEGETAL E COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO DE PLANTULAS DE *Jacaranda cuspidifolia* Mart.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva

RONDONÓPOLIS - MT
Setembro de 2021

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CINZA VEGETAL E COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO DE PLANTULAS DE *Jacaranda cuspidifolia Mart.*

AUTORA: MESTRANDA ELISA RIBEIRO OLIVEIRA

Dissertação defendida e aprovada em 14 de setembro de 2021.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Tonny José Araújo da Silva (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutor Thiago Franco Duarte (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutor Adriano Bicioni Pacheco (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

4. Doutora Edna Maria Bonfim da Silva (Examinador Suplente)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

RONDONÓPOLIS,14/09/2021.

Documento assinado eletronicamente por **THIAGO FRANCO DUARTE**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 14/09/2021, às 17:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Adriano Bicioni Pacheco**, **Usuário Externo**, em 15/09/2021, às

08:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **TONNY JOSE ARAUJO DA SILVA**, **Coordenador(a) de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do ICAT CUR**, em 15/09/2021, às 15:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3898229** e o código CRC **7BBDDF4C**.

Referência: Processo nº 23108.074128/2021-40 SEI nº 3898229

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Aos meus pais, Rafael Soares de Oliveira, Claudia Maria dos Santos Ribeiro Oliveira, minha irmã, Telma Ribeiro Oliveira e meu irmão, Lucas Ribeiro Oliveira, pela ajuda e apoio em todos os momentos de minha vida.

Aos meus queridos primos que mesmo a distância se faz presentes.

Ao meu marido Kaio Kaue Marteli Marques pelo companheirismo, pelo incentivo em ingressar ao Programa de Mestrado, pela compreensão e, apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador professor Dr. Tonny José Araújo da Silva, minha gratidão pelo exemplo de profissional e pesquisador, pelos conhecimentos compartilhados, pela compreensão nas fases desafiadoras e dedicação e apoio na realização do experimento.

À minha coorientadora professora Drª. Edna Maria Bonfim-Silva minha gratidão, pelos conhecimentos compartilhados, pelas oportunidades e disposição em contribuir sempre.

Aos professores do Programa do Mestrado em Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos compartilhados e contribuição.

Aos amigos do mestrado Nayara, Maria, Thiago, Christian, João, Jucielly, Rackel, Ivan e Júlio pelos momentos de estudo e de descontração. Agradeço especialmente ao Júlio e Jucielly pelo apoio em diversas etapas do experimento.

A Universidade Federal de Mato Grosso e a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Por fim, a todos que me ajudaram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste projeto.

CINZA VEGETAL E COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO DE PLANTULAS DE *Jacaranda cuspidifolia* Mart.

RESUMO

O *Jacaranda cuspidifolia* Mart. é uma espécie pioneira, típica do Bioma Cerrado e produz anualmente grande quantidade de sementes, que são dispersas pelo vento, tais características conferem a espécie potencial para ser empregadas em projetos de recuperação de áreas degradas. Áreas degradadas, com solos compactados em subsuperfície e baixa fertilidade, apresentam grandes desafios para promover sua recuperação. A cinza vegetal é uma alternativa capaz de melhorar as condições químicas do solo e pode auxiliar no desenvolvimento das plantas. Desse modo, objetivou-se avaliar o efeito da cinza vegetal associada a níveis de densidade de solo em subsuperfície no desempenho da planta de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. em Latossolo Vermelho, predominante no Cerrado mato-grossense. O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 5x5, correspondendo a cinco doses de cinza vegetal (0; 8; 16; 24 e 32 g dm^{-3}) e cinco níveis de densidade do solo na camada subsuperficial (1,0; 1,2; 1,4; 1;6; 1,8 Mg m^{-3}), com três repetições. As avaliações foram realizadas com as seguintes variáveis: altura de plantas, diâmetro do caule e índice de clorofila; e por ocasião do corte: massa úmida parte aérea e raiz, massa seca parte aérea e raiz, volume de raiz. As variáveis respostas foram submetidas à análise de variância e teste de regressão, ambos com até 5% de probabilidade de erro, utilizando o Software R®. Foi constado que não houve interação significativa entre a cinza vegetal e nível de compactação do solo em subsuperfície. Embora não houve interação entre os fatores, quando foi realizada a suplementação adequada, através da aplicação de cinza vegetal na dose de 16 g dm^{-3}, as plantas de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. conseguiram se desenvolver satisfatoriamente em um solo com compactação em subsuperfície, até nível de 1,4 Mg m^{-3}. Desta forma, a utilização da cinza vegetal constitui uma prática potencial em projetos de recuperação de áreas degradadas, mesmo naquelas que apresentam condições de compactação do solo em subsuperfície.

Palavras chave: Recuperação, áreas degradadas, cerrado.

WOOD ASH AND SOIL COMPACTION ON THE GROWTH OF Jacaranda cuspidifolia Mart.

ABSTRAT

The *Jacaranda cuspidifolia* Mart. is a pioneer species, typical of the Cerrado Biome, and annually produces a large number of seeds, which are dispersed by the wind, such characteristics give the species potential to be used in projects to recover degraded areas. Degraded areas, with soil with subsurface compaction and low fertility, present great challenges to promote its recovery. Wood ash is an alternative capable of improving soil chemical conditions and can help plant development. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of plant ash associated with subsurface soil density levels on the performance of *Jacaranda cuspidifolia* Mart. in Latossolo Vermelho, predominant in the Cerrado of Mato Grosso. The experiment was carried out in a greenhouse, using a completely randomized design in a 5x5 factorial scheme, corresponding to five doses of plant ash (0; 8; 16; 24 and 32 g dm^{-3}) and five levels of subsurface layer soil density (1.0; 1.2; 1.4; 1.6; 1.8 Mg m^{-3}), with three repetitions. The evaluations were carried out with the following variables: plant height, stem diameter and, chlorophyll index; and at the time of cutting: aerial part and root wet mass, aerial part and root dry mass, root volume. The response variables were submitted to analysis of variance and regression test, both with up to 5% probability of error, using the R® Software. It was found that there was no significant interaction between wood ash and subsurface soil compaction level. Although there was no interaction between the factors, when adequate supplementation was performed, through the application of wood ash at a dose of 16 g dm^{-3}, the *Jacaranda cuspidifolia* Mart. managed to develop satisfactorily in soil with subsurface compaction, up to a level of 1.4 Mg m^{-3}. Thus, wood ash can be used as a potential asset in projects for the recovery of degraded areas, even in conditions of subsurface soil compaction.

Keywords: Recovery, degraded areas, cerrado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Densidade do solo para diferentes classes de solo. 20
Tabela 2: Análises químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho Distrófico (camada de 0-20 cm) em área sob vegetação de Cerrado, Rondonópolis-MT.25
Tabela 3: Caracterização química da Cinza Vegetal (Rondonópolis-MT, 2017). 26
Tabela 4: Resumo da análise de variância, contendo os valores dos quadrados médios para cada variável em função das densidades do solo e dose de cinza vegetal e a interação entre ambos. 31
Tabela 5: Resumo da análise de variância, por ocasião da coleta final, contendo os valores dos quadrados médios para cada variável em função das densidades do solo e dose de cinza vegetal e a interação entre ambos. 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Temperatura e umidade relativa do ar (°C; UR%) no período experimental (09/02/2021 a 20/05/2021) em casa de Vegetação. Rondonópolis-MT. 22

Figura 2: Vista do experimento instalado na casa de vegetação da Universidade Federal do Mato Grosso, plantas de *Jacaranda cuspidifolia* ,campus universitário de Rondonópolis. 23

Figura 3: Esboço da unidade experimental utilizando vasos confeccionado com três anéis cilíndricos e simétricos de Policloredo de Vanila (PVC) sobrepostos, com 150mm de diâmetro e 300mm de altura. 24

Figura 4: pH ($CaCl_2$) do solo aos 135 dias após a reação do solo quando submetido a diferentes doses cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico. *** Significativo a 0,1% de probabilidade, respectivamente. (cz= dose de cinza vegetal). 30

Figura 5: Altura de plantas de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função da densidade de solo em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 33

Figura 6: Altura de plantas de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 34

Figura 7: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob densidade de 1,4 Mg m^{-3} (A), 1,6 Mg m^{-3} (B), nas doses de cinza vegetal de 0, 8, 16, 24 e 32 g dm^{-3}, respectivamente. 35

Figura 8: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob doses de cinza vegetal de 8,0 g.dm^{-3} (A) e 16 g.dm^{-3} (B), nas densidades de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}, respectivamente 35

Figura 9: Diâmetro de caule de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função da densidade de solo em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 37

Figura 10: Diâmetro de caule de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente..... 38
Figura 11: Leitura SPAD de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 40
Figura 12: Massa úmida parte aérea (MUPA) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 42
Figura 13: Massa seca parte aérea (MSPA) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 43
Figura 14: Massa úmida de raiz (MURAIZ) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 44
Figura 15: Massa seca de raiz (MSRAIZ) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função das doses de cinza vegetal, em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente..... 45
Figura 16: Volume de raiz (VOLRAIZ) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. 46
Figura 17: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob densidade de 1,0 Mg m^{-3} (A), 1,2 Mg m^{-3} (B), 1,4 Mg m^{-3} (C), 1,6 Mg m^{-3} (D), 1,8 Mg m^{-3} (E), nas doses de cinza vegetal de 0, 8, 16, 24 e 32 g dm^{-3}, respectivamente. 47
Figura 18: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob doses de cinza vegetal de 0 g.dm^{-3} (A), 8,0 g.dm^{-3} (B), 16 g.dm^{-3} (C), 24 g.dm^{-3} (D) e 32 g.dm^{-3} (E), nas densidades de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}, respectivamente. 48

Figura 19: Vista entre as camadas de 0,1-0,2m do vaso com *Jacaranda cuspidifolia* sob densidade de solo de 1,8 Mg m^{-3}, na dose de cinza de 16 g dm^{-3}, respectivamente. 49
Figura 20: Vista sistema radicular de *Jacaranda cuspidifolia* na unidade experimental com densidade do solo 1,4 Mg m^{-3} e dose de cinza vegetal de 16 mg dm^{-3}. 49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
2.1. Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas 14
2.1.1. Legislação 15
2.2. Espécie *Jacaranda cuspidifolia* Mart 16
2.3. Cinza Vegetal 17
2.4. Compactação do Solo 19
3. MATERIAL E MÉTODOS 22
3.1. Localização do Experimento 22
3.2. Instalação do Experimento 23
3.2.1. Delineamento Experimental 23
3.2.2. Unidade Experimental 23
3.2.3. Coleta das Sementes 25
3.2.4. Coleta de Solo 25
3.2.5. Correção da Acidez 26
3.2.6. Compactação do Solo 26
3.3. Condução do Experimento 27
3.3.1. Semeadura e Adubação 27
3.3.2. Manejo de Irrigação 28
3.4. Variáveis Analisadas 28
3.5. Análises Estatísticas 29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
4.1. pH do Solo 30
4.2. Resultados das Avaliações de Desenvolvimento da Planta 31
4.2.1. Altura das Plantas 32
4.2.2. Diâmetro de caule 36
4.2.1. Leitura SPAD 39
4.3. Resultados das Avaliações Finais do Experimento 41
4.3.1. Massa Úmida Parte Aérea (Folhas + Caule) 41
4.3.2. Massa Seca Parte Aérea (Folhas + Caule) 42
4.3.3. Massa Úmida Raízes 43

4.3.4. Massa Seca Raízes 44
4.3.5. Volume Raízes 45
5. CONCLUSÃO 50
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Jacaranda cuspidifolia* Mart. pertence à família botânica Bignoniaceae e tem como nome vulgar caroba, jacarandá-de-minas, jacarandá-mimoso, jacarandá, caiuá, jacarandá-branco, caroba-branca, pau-de-colher, pau-santo, carobeira e jacarandá-preto. É uma planta decídua, heliófila, pioneira, seletiva, xerófila, característica de encostas rochosas da floresta latifoliada e transição para o cerrado. Tem ocorrência nos Estados do Paraná, principalmente na floresta latifoliada semidecídua da bacia do Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, São Paulo Minas Gerais e Goiás. É rara sua ocorrência no interior da floresta primária densa. Apresenta madeira própria para a marcenaria. A árvore é extremamente ornamental, principalmente quando em flor, podendo ser empregada com sucesso no paisagismo em geral (LORENZI, 2000).

A espécie *Jacaranda cuspidifolia* Mart. produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis, amplamente dispersas pelo vento, e floresce durante os meses de setembro a dezembro com as plantas totalmente despidas da folhagem velha (POTT e POTT, 1994; LORENZI, 2000).

Espécies arbóreas pioneiras, heliófilas e que produzem anualmente grandes quantidades de sementes viáveis e, que são amplamente dispersas pelo vento apresentam potencial para ser empregadas em projetos de recuperação de áreas degradas, uma vez que estas conseguem iniciar a colonização de uma área inabitada e associados a longos períodos de exposição à luz, apresentando crescimento acelerado e reprodução precoce.

Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) consistem em realizar um conjunto de técnicas que propiciarão à área degradada condições de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, com solo apto para uso futuro e paisagem esteticamente harmoniosa. Um desafio frequentemente identificado em projetos de recuperação de áreas degradadas é a baixa fertilidade do solo e compactação, principalmente em áreas que eram ocupadas por mineração, áreas de empréstimo, estradas, entre outros.

A compactação em camadas superficiais pode ser corrigida empregando manejo mecanizado. Entretanto, a compactação em subsuperfície é mais difícil para ser reparada, e pode envolver operações mais onerosas.

A compactação do solo reduz a infiltração de água no solo e aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes se desenvolvam superficialmente (Rosolem et al., 1994; Moraes et al., 1995).

A compactação em subsuperfície pode afetar o crescimento de raízes e o desenvolvimento da planta. Em solos onde as raízes finas podem explorar canais radiculares e fissuras existentes, culturas com raízes pivotantes são mais afetadas pela compactação que aquelas com raízes fasciculadas mais finas (Whiteley & Dexter, 1982). Entretanto, raízes de maior diâmetro apresentam maior resistência ao encurvamento quando entram em solo compactado (Whiteley & Dexter, 1984), o que, segundo Henderson (1989), é importante em solos deficientes em macroporos, onde as raízes necessitam mais deformar o solo do que explorar fissuras.

Outro desafio para recuperação de uma área degradada é a reabilitação da fertilidade do solo. Os solos do Cerrado brasileiro, são caracterizados pela elevada acidez e baixa saturação por bases. Devido ao baixo pH, vários nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, encontram-se em baixa disponibilidade no solo, onde é recomendável que se faça a correção da acidez do solo (PANTANO et al., 2016).

Nessa ótica, resíduos agroindustriais, como a cinza vegetal, se mostram uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental, pois possuem capacidade de corrigir o pH do solo e fornecer nutrientes as plantas. Geralmente a cinza vegetal fornece nutrientes ao solo como magnésio, cálcio, fósforo e potássio (Osaki & Darolt, 1991; Bonfim-Silva, 2020;).

No que tange o ponto de vista ambiental, a utilização da cinza vegetal na incorporação ao solo, respeitando as doses recomendadas para cada plantio, se mostra viável pois trata-se de uma destinação sustentável para um resíduo agroindustrial, além disso, é uma fonte renovável de nutrientes para o solo que proporciona redução na pressão de fontes de adubos provenientes de recursos minerais.

Nesse estudo objetivou-se avaliar o efeito da aplicação cinza vegetal associada a níveis de densidade de solo, simulando camadas compactadas em subsuperfície, no desempenho da planta de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. em Latossolo Vermelho, predominante no Cerrado mato-grossense.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas

Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas, PRAD, visam proporcionar as condições mínimas necessárias para promover a revegetação de uma área degradada, onde, se faz necessário implementar um conjunto de técnicas que visem melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo no local.

Conforme Martins (2014), a recuperação é um termo que tradicionalmente tem sido associado com áreas degradadas, referindo-se à aplicação de técnicas silviculturais, agronômicas e de engenharia, visando assim a recomposição topográfica e à revegetação de áreas em que o relevo foi descaracterizado pela mineração, pela abertura de estradas.

O conceito de degradação tem sido geralmente associado aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais. O conceito tem variado segundo a atividade em que esses efeitos são gerados, bem como em função do campo de conhecimento humano em que são identificados e avaliados (BITAR, 1997).

A restauração como definida por Engel & Parrotta (2003) não deve ter a pretensão de refazer uma floresta exatamente igual à que existia antes, mas sim colocar no campo uma composição de espécies, de tal forma que forneça condições para que essa nova comunidade tenha maior probabilidade de se desenvolver e se autorenovar, ou que tenha maior probabilidade de ser sustentável.

Em estudos de Neri & Sánchez (2010) em minas de calcário para cimento, as atuais práticas de RAD (recuperação de áreas degradadas) não apresentam boa conformidade com as melhores práticas internacionais e nacionais. Há, principalmente, deficiências de planejamento, com reflexos nas práticas operacionais, em que pese a adoção de várias práticas satisfatórias, especialmente de manejo de solo e de proteção das águas. Não há reconhecimento, por parte das empresas, da importância da gestão do processo de recuperação. Ademais, constatou que as minas submetidas ao licenciamento ambiental, por meio da preparação de um detalhado estudo de impacto ambiental, apresentam as melhores práticas de planejamento e

boa conformidade para práticas de gestão, o que sugere que o licenciamento ambiental tem influência positiva sobre a RAD.

Segundo Parrotta (1993) os objetivos primordiais da restauração são: facilitar, acelerar e direcionar os processos sucessionais naturais, aumentar a produtividade biológica, reduzir o processo de erosão do solo, aumentar a fertilidade e o controle biótico sobre os fluxos biogeoquímicos dentro do ecossistema.

A reabilitação de áreas degradadas deve envolver um conjunto de fatores ambientais, de tal forma que propicie condições para os processos ambientais, sejam similares ao de uma vegetação secundária da região, tanto nos aspectos hidrológicos, fitossociológico, ciclagem de nutrientes, “construção de solo”, filtragem de radiação solar, umidade, microclima e meso-fauna dos compartimentos do ecossistema: parte aérea, serapilheira e substrato (VALCARCEL & SILVA, 1997).

Com os avanços na compreensão da floresta tropical, vários modelos de recomposição florestal foram desenvolvidos para implantação de vegetação arbórea nativa no Brasil. Porém, a maior parte das vezes, a recuperação condiciona-se ao plantio de mudas sem se dar conta do potencial de autorecuperação da área ou ao uso de técnicas alternativas (RODRIGUES & GANDOLFI, 2000)

Dissertando a respeito da recuperação de áreas com emprego se metodologia de semeadura a lanço, Araki (2005), avaliou a espécie *J. cuspidifolia* apresentou ocupação da área efetiva, em que, emergiram plântulas o suficiente para cobertura florestal. Dessa forma é indicada é indicada para o sistema de semeadura a lanço já que apresentou um bom número de indivíduos por hectare.

2.1.1. Legislação

A Lei 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro), contempla um conjunto de ações a serem desenvolvidos pelos proprietários e posseiros rurais com o objetivo de promover a regularização ambiental de suas propriedades ou posses, entre essas ações cita-se o Programa de Regularização Ambiental (PRA). Os PRA’s, possuem como premissa, manter, recuperar ou recompor as áreas degradadas ou áreas alteradas em Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito do imóvel rural, ou ainda de compensar Áreas de Reserva Legal.

Para os proprietários e posseiros rurais que aderirem o programa do PRA, seguindo todas as diretrizes determinadas na Lei 12.651/2012, haverá como incentivo a suspenção de sanções decorrentes das infrações relativas à supressão irregular de vegetação nativa cometidas antes de 22/07/2008.

Neste cenário, embora a legislação ambiental vigente no Brasil não tenha aumentado os limites estabelecidos para preservação ambiental, percebe-se que ao aplicar as diretrizes do Código Florestal (Lei 12.651/2012), somada a um aumento da atuação dos órgãos fiscalizadores, há uma expectativa que se aumente as áreas a serem recuperadas.

2.2. Espécie *Jacaranda cuspidifolia* Mart

Segundo o conjunto de informações do REFLORA – PLANTAS DO BRASIL, a espécie *Jacaranda cuspidifolia* Mart é nativa do Brasil, entretanto não é endêmica. Esta espécie não possui avaliação quanto ao grau de ameaça. Sua distribuição geográfica confirmada abrange o Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo), nos Domínios Fitogeográficos Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, com o Tipo de Vegetação Cerrado (lato sensu).

A madeira dessa espécie é indicada para várias finalidades e é uma árvore muito utilizada no paisagismo, pois quando florida é extremamente ornamental (LORENZI, 2000).

Em estudos de Scalon (2006) com *Jacaranda cuspidifolia*, a porcentagem de emergência aumentou com o período de armazenamento, sendo maior sob refrigeração. As sementes puderam ser armazenadas por 150 dias, tanto em temperatura ambiente quanto sob refrigeração, apresentando elevada emergência mesmo sem nenhum tratamento.

O emprego do *Jacaranda cuspidifolia* em áreas de recuperação de áreas degradadas, foi avaliado por Moraes et al (2013), onde as progênies de *Jacaranda cuspidifolia* apresentam variabilidade genética suficiente podendo ser recomendado para coleta de sementes para várias finalidades e conservação genética ex situ. A sobrevivência de *J. cuspidifolia* foi alta (94% a 98%), evidenciando boa adaptação das

progênies as condições locais do experimento; O plantio das plantas no espaçamento de aproximadamente 3 x 3 m, proporciona as melhores performances em altura, diâmetro e sobrevivência;

2.3. Cinza Vegetal

A cinza vegetal é um resíduo oriundo da queima completa de biomassa vegetal. Consiste em um material sólido, de cor acinzentada, proveniente principalmente de indústrias que requerem esse material (biomassa vegetal) como combustível para alimentar suas unidades de caldeira. A biomassa florestal, como a madeira, e o material vegetal de origem agrícola, são considerados fontes de combustível eficazes e favoráveis para a geração de energia térmica, pois são recursos renováveis, econômicos e abundantes (COELHO & COSTA, 2007; MAEDA et al., 2008; RAJAMMA et al., 2009).

A cinza vegetal tem em sua composição teores variados principalmente de Fósforo, Potássio e Cálcio (DAROLT & OSAKI, 1991; DAROLT et al., 1993). Dentre as principais substâncias solúveis, os teores mais elevados são os de Carbonatos de Potássio, Sódio, Cálcio e Magnésio (CHIRENJE & MA, 2002). Devido à presença desses e outros compostos capazes de corrigir a acidez do solo a cinza também tem capacidade de ser fonte de nutrientes (SANTOS, 1995).

A utilização de cinza vegetal pode ser uma alternativa de baixo custo para adubação de culturas de cobertura e adubos verdes em solos com elevada acidez (BONFIM-SILVA et al., 2011a).

Assim, torna-se necessário conhecer a princípio a composição química desse resíduo e a dose adequada para cada cultura, evitando-se carência toxidez nutricional ou toxidez pelo excesso de alguns nutrientes como cálcio e magnésio que competem significativamente com outros pelos sítios ativos de absorção (LIMA et al., 2005).

Segundo Schlichting (2018), para avaliar o nível de agentes contaminantes e a possível contaminação do solo pela aplicação da cinza vegetal, podemos utilizar a Resolução n° 420 de 28 de dezembro de 2009 do CONAMA, alterada pela Resolução de n° 460/2013 (Brasil - CONAMA, 2013). Tais resoluções dispõem sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas

e estabelecem diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, como pode ocorrer com a aplicação da cinza vegetal e de outros resíduos.

Griffin (2018) elenca três etapas que devem ser realizadas quando se aplica a cinza vegetal no solo, são elas:

1. Realizar a análise química da cinza vegetal, como um fertilizante;
2. Após aplicação da cinza vegetal, acompanhar os níveis de nutrientes no solo, principalmente fósforo e potássio;
3. Realizar análises da absorção de nutrientes pela planta, principalmente de fósforo e potássio.

Assim, a utilização da cinza vegetal torna-se segura, pois verifica-se o seu conteúdo mineral (elementos químicos e quantidades), como que está reagindo no solo e se está influenciando o desenvolvimento da planta.

O uso de resíduos industriais (cinza) na agricultura é vantajoso tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. A destinação correta do grande volume de resíduos gerados pelas indústrias na produção agrícola representa redução de riscos ambientais e economia de fertilizantes minerais, reduzindo a dependência indireta de rochas calcárias e fosfatadas, minimizando assim, o custo de produção, principalmente para pequenos e médios produtores (BONFIM-SILVA et al., 2011a; GIMENES, 2012). Do ponto de vista ambiental, o uso de resíduos provenientes da geração de energia a partir de biomassa, especificamente, as cinzas, deve ser realizado de forma benéfica e equilibrada com o meio ambiente.

Além do uso na agricultura, a cinza vegetal tem potencial para ser empregada na silvicultura, podendo ser utilizada em florestas plantadas exóticas e nativas.

As possibilidades de utilização de cinza de biomassa florestal em solos destinados à produção de culturas florestais são consideradas promissoras, uma vez que, além da grande oferta, apresenta nutrientes essenciais às culturas em sua composição. No entanto, para identificar a potencialidade de uso agrícola e suas possíveis limitações, o uso desse resíduo em solo deve ser precedido da determinação da composição química do resíduo e do solo, (Albuquerque et al., 2002), pois quando aplicado em quantidades consideradas inadequadas, pode prejudicar o solo e o meio ambiente pelo desbalanço de nutrientes.

Em estudos de Prado (2002), a cinza da indústria de cerâmica apresentou resultados benéficos para a fertilidade do solo e na nutrição das plantas de goiabeira.

Martinez Santos (2018), estudando a cultura do Cártamo, constou que as doses de cinza vegetal próximas a 24 g dm^{-3} do resíduo, proporcionou desenvolvimento vegetativo mais vigoroso

Segundo Duarte et. al. (2020), não há um consenso geral a respeito dos efeitos da cinza na infiltração e na condutividade hidráulica do solo. Os resultados são ainda diversos e por vezes contraditórios. Segundo Wood & Balfour (2010), essas contradições são decorrentes da interação que existe entre a cinza vegetal, sua qualidade e quantidade, e o solo local, especialmente a textura, o que provoca efeitos bem diferentes.

2.4. Compactação do Solo

Dissertando-se acerca de processos físicos do solo, dois termos são muito empregados, adensamento e a compactação. O adensamento é um processo natural pedogenético de redução do espaço poroso e, por conseguinte, aumento da densidade do solo. Já a compactação, é um processo antrópico, no qual existe uma compressão, ocasionando a diminuição do volume dos poros, gerando um arranjo mais denso das partículas deste, por fim, a redução da porosidade (CURI et al, 1993; HAMZA & ANDERSON, 2005).

A compactação é o resultado da reorganização proporcional de cargas ou pressões exercidas sobre o solo (Souza et al., 2008) e pode ser definido como um processo gradual e dinâmico, que altera a estrutura e reorganiza as partículas e seus agregados. Com o aumento da densidade do solo e redução da porosidade total e macroporosidade, há redução da infiltração da água no solo, movimento do ar, disponibilidade de nutrientes no solo e penetração e ramificação de raízes, devido ao excesso da resistência mecânica e aeração deficiente (Jimenez et al., 2008; Freddi et al., 2009a).

Segundo Duarte et. al. (2020), a densidade do solo é a relação existente entre a massa seca de uma certa porção de solo com estrutura preservada e o seu volume total (volume das partículas + poros). Esse parâmetro físico varia conforme o tipo de

solo, como demonstrado na Tabela 1, de modo que os solos com textura arenosa tendem a ser naturalmente mais densos do que solos argilosos e solos orgânicos.

Tabela 1: Densidade do solo para diferentes classes de solo.

Classe de solo	**Densidade kg m^{-3}**
Arenosos	1250 – 1400
Argilosos e Francos	1000 – 1400
Humíferos	750 – 1000
Turfosos	200 – 450

Fonte: Prevedello (2015), citado por Duarte (2020).

Nunes et al. (2016) avaliando parâmetros físicos do solo como macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração, em Latossolo Vermelho, verificaram diminuição de 59% da porosidade total, 26% da microporosidade, 96% da macroporosidade e aumento de 97% da resistência à penetração, quando compararam o solo com densidade de 1,0 Mg m^{-3} em relação ao solo com densidade de 1,8 Mg m^{-3}.

Ainda Segundo Nunes et al. (2016), a produção de raízes adventícias, pela cultura do milho (*Zea mays* L.), provou ser sensível ao aumento da densidade aparente e tensões da água no solo. Densidades de solo superiores a 1,21 Mg m^{-3} foram limitantes para produção de matéria seca de raízes na camada de 0,2-0,3m e total de raízes.

Para a realizar a descompactação em subsuperfície, podem ser utilizadas algumas práticas mecânicas e edáficas. As mecânicas seriam a subsolagem, economicamente dispendiosa pelo gasto com combustível, desgaste de maquinário, desestruturação do solo, além de poder deixar este mais suscetível à novas compactações em camadas ainda mais profundas, à escarificação, menos agressiva, porém demanda custos operacionais, assim como à subsolagem (ALAKUKU et al., 2003, BOTTA et al., 2006).

Quanto às práticas edáficas de caráter vegetativo, em sistemas de plantio direto, utilizam-se plantas com sistema radicular agressivo, capazes de explorar camadas mais profundas do solo. Resultados apontam que, principalmente leguminosas e algumas gramíneas como plantas de cobertura, ajudam a recuperar a

estrutura do solo, sendo as crotalárias e gramíneas as mais estudadas (CALONEGO, 2011; BONFIM-SILVA et al., 2012; PACHECO et al., 2015; HERRADA et a., 2017).

A compactação do solo reduz a infiltração de água no solo e aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes desenvolvam-se superficialmente (Rosolem et al., 1994; Moraes et al., 1995).

Segundo Muller *et al*. (2001), avaliando a compactação em subsuperfície para cinco espécies de plantas de adubação verde de inverno (ervilhaca, nabo forrageiro, tremoço branco, aveia preta e aveia branca) verificaram que a compactação do solo em subsuperfície prejudicou o crescimento radicular das espécies estudadas, concentrando as raízes perto da superfície do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

O experimento foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis – MT. A condução do estudo foi em condições controladas de casa-de-vegetação construída em estrutura metálica, coberta com filme de polietileno duplo de espessura de 0,15 mm e equipada de sistema de resfriamento adiabático (evaporativo) para manutenção da temperatura e umidade do ar. A casa de vegetação está localizada nas coordenadas geográficas de 16°27’49” Sul, 54°34’46” Oeste e altitude de 284 m.

Durante o experimento foi realizado o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, com o auxílio de um termo-higrômetro digital. Durante a condução do experimento, as médias da máxima e mínima temperatura do ar foram de 18,8°C e 40,8°C, respectivamente. Ao passo que a umidade relativa do ar média foi de 86% (Figura 1).

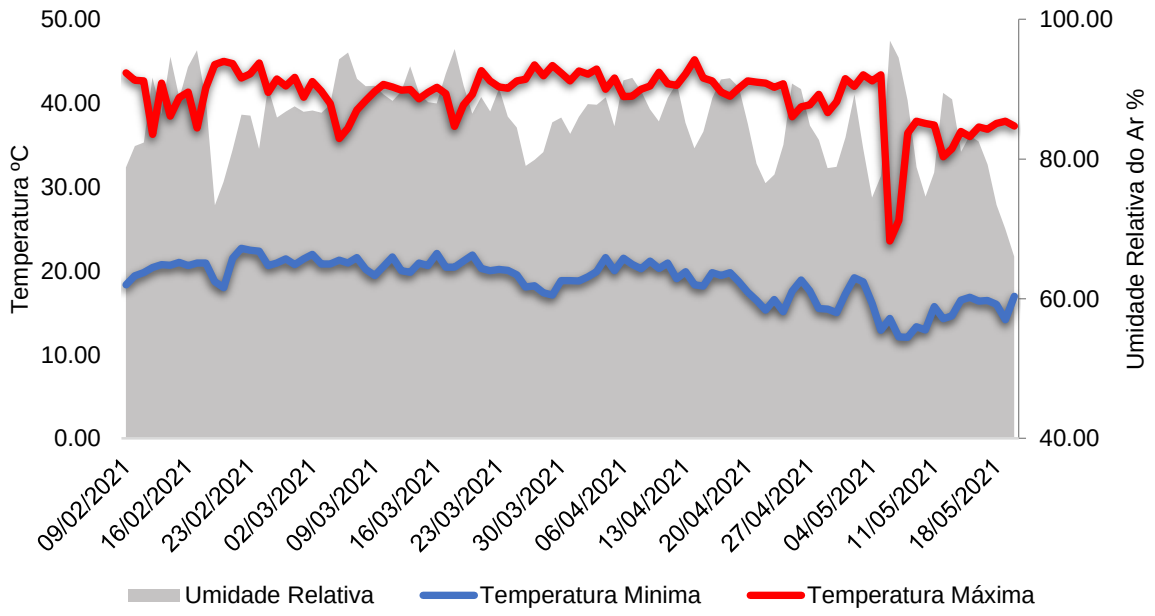

Figura 1: Temperatura e umidade relativa do ar (°C; UR%) no período experimental (09/02/2021 a 20/05/2021) em casa de Vegetação. Rondonópolis-MT.

3.2. Instalação do Experimento

O período de condução do experimento foi de fevereiro a maio de 2021. A espécie empregada foi o *Jacaranda cuspidifolia* Mart (Figura 2).

Figura 2: Vista do experimento instalado na casa de vegetação da Universidade Federal do Mato Grosso, plantas de *Jacaranda cuspidifolia*, Campus Universitário de Rondonópolis.

3.2.1. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em fatorial 5x5, correspondentes a cinco densidades do solo em subsuperfície (1,0; 1,2; 1,4; 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}) e cinco doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24, 32 g dm^{-3}), com 3 repetições para cada tratamento, perfazendo 75 unidades experimentais.

3.2.2. Unidade Experimental

A unidade experimental, foi composta por um vaso confeccionado com três anéis cilíndricos e simétricos de Policloredo de Vanila (PVC) sobrepostos (Figura 3). A unidade experimental total possui 150mm de diâmetro e 300mm de altura, totalizando 4,62 dm^{-3}. Cada anel, representou uma camada de solo de 0,1 m (100mm), e foram unidas entre si por fita adesiva tipo ‘silver tape’, e na parte inferior desse conjunto denominado de vaso. Para proporcionar a drenagem da água e manter o substrato no interior do vaso, foi fixada com auxílio de uma tira de borracha oriunda

de câmara de pneus, uma tela de plástico com malha de 1 mm, recobrindo toda sua base desse vaso. Além da tela plástica, foram colocados sob cada vaso, pratos plásticos de 300 mm de diâmetro e 50 mm de altura para retenção da água para proporcionar a irrigação por capilaridade.

O anel superior do vaso (camada de 0-0,1m) foi preenchido com solo misturados às doses de cinza vegetal incorporadas de acordo com cada tratamento (0, 8, 16, 24, 32 g dm^{-3}). Para todos os tratamentos, na camada do anel superior foi adotada mesma densidade (1,0 Mg m^{-3}).

Com o intuito de simular as condições de campo com ocorrência de compactações em subsuperfície, o anel intermediário do vaso (camada de 0,1-0,2m) foi preenchido com solo compactado, cujas densidades foram de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}.

Já o anel inferior (camada de 0,2-0,3m) foi preenchido com solo na densidade de 1,0 Mg m^{-3}, e não recebeu doses de cinza. O esboço da unidade experimental está apresentado na Figura 3.

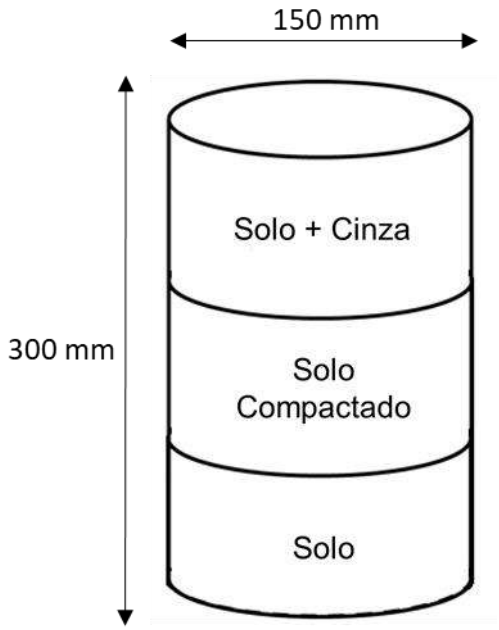

Figura 3: Esboço da unidade experimental utilizando vasos confeccionado com três anéis cilíndricos e simétricos de Policloreto de Vinila (PVC) sobrepostos, com 150mm de diâmetro e 300mm de altura.

3.2.3. Coleta das Sementes

As sementes de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. foram coletadas no município de Rondonópolis no campus universitário da Universidade Federal do Mato Grosso nos meses de setembro e outubro de 2020.

Primeiramente foi coletado os frutos do tipo cápsulas diretamente das árvores, posteriormente, as capsulas foram abertas com auxílio de um canivete e as sementes ficaram secando por um período de 15 dias. Após este período as sementes foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para câmara fria do Departamento de Solos da Universidade por um período de 120 dias.

3.2.4. Coleta de Solo

O solo utilizado no preenchimento dos vasos, classificado como Latossolo Vermelho distrófico, foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade em área sob vegetação de Cerrado, em área experimental do Campus Universitário de Rondonópolis -UFMT.

O solo coletado foi passado em peneira de malha de 4 mm para composição do material para preenchimento das unidades experimentais e, em peneira de malha de 2 mm para a análises químicas e granulométricas com finalidade de caracterização do solo (Tabela 2).

Tabela 2: Análises químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho Distrófico (camada de 0-20 cm) em área sob vegetação de Cerrado, Rondonópolis-MT.

pH	**P**	**K**	**S**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**SB**		**CTC**
$CaCl_2$	.....mg dm^{-3}.....			.....cmolc dm^{-3}.....						
4,1	1,8	37	3	0,5	0,4	0,9	6,8	0,99		7,79
Zn	**Mn**	**Cu**	**Fe**	**B**	**M.O**	**V**	**M**	**Argila**	**Silte**	**Areia Total**
.....mg dm^{-3}.....					g kg^{-1}	.....%.....		.....g kg^{-1}.....		
0,8	27,6	0,3	82	0,23	21,9	12,7	47,6	530	125	345

* P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; CTC = Capacidade de troca de cátions; MO = Matéria orgânica; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio.
*Leitura realizada em $Melich^{-1}$

3.2.5. Correção da Acidez

A correção de acidez do solo foi realizada com a cinza vegetal, conforme descrito por Bezerra (2016). A incubação do solo com cinza vegetal ocorreu de forma individual para cada unidade amostral, onde foi utilizado sacos plásticos e adicionado 1,54 dm^3 de solo (referente ao volume da camada 0-0,1m da unidade experimental), além disso, foi incorporado a cinza vegetal com as doses estabelecidas para este experimento (0, 8, 16, 24, 32 g dm^{-3}).

A umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água no solo para reação do material por um período de 30 dias.

A cinza vegetal, foi adquirida de indústria alimentícia do município de Rondonópolis, MT proveniente da limpeza do cinzeiro de caldeiras. Tais caldeiras utilizam como principal fonte de combustível a lenha e cavaco de eucalipto. A cinza vegetal utilizada foi caracterizada como fertilizante e corretivo como preconiza Darolt et al. 1993 (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização química da Cinza Vegetal (Rondonópolis-MT, 2017).

pH	PN	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	SO_4	Si	Mn	B	Fe	Cr	As	Hg
$CaCl_2$	%					g kg^{-1}						mg kg^{-1}		
10,7	28,0	0,3	0,9	3,5	3,3	2,1	0,2	27,4	0,4	0,1	1,0	8,0	2,1	0,1

Fonte: Santos, 2018.

3.2.6. Compactação do Solo

A compactação do solo foi realizada com o auxílio de uma prensa hidráulica modelo P15ST da marca BOVENAU®.

Com o intuito de determinar a massa de solo seco a ser adicionada para atingir as densidades de solos de 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 e 1,8 Mg m^{-3} foi realizado a relação de massa de solo seco sobre o volume do anel (Equação 1), conforme equação a seguir.

$$Ds = \frac{MSS}{Va} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:
MSS= Massa de solo seco (kg)
Va= Volume do anel (1,54 dm^{-3})
Ds= Densidade do Solo (Mg m^{-3}).

Após a determinação do solo seco para cada nível de densidade, foi estimada a massa de solo úmido a ser alocada em cada anel. Para a determinação da umidade ideal do solo em cada nível de densidade foram realizados ensaios de Proctor normal (BRAIDA et al., 2006; ABNT, 2016). Ensaios prévios realizados por Fagundes et al. (2014), com o solo coletado no mesmo local, indicaram umidade ideal para compactação de 16 %. Para determinar a massa de solo úmido a ser adicionada em cada anel, conforme a Equação 2 a seguir.

$$MSU = MSS\ (1 + \theta m) \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde:
MSU= Massa de solo Úmido (kg)
MSS=Massa de solo Seco (kg)
θm= Umidade a base de massa

3.3. Condução do Experimento

3.3.1. Semeadura e Adubação

A semeadura foi realizada utilizando-se 5 sementes por unidade experimental, a profundidade do plantio foi de 1,0 cm. Após emergência foi realizado desbaste, mantendo duas plantas por vaso.

A cinza vegetal tem em sua composição teores variados principalmente de Fósforo, Potássio e Cálcio, portanto este resíduo além de ser utilizado como corretivo, fornece uma parte desses fertilizantes, sendo necessário complementar o Nitrogênio, conforme recomendado pelo trabalho de Dutra (2015) na dose indicada de 300 mg dm^{-3}. A adubação nitrogenada adicional teve como fonte a ureia e foi dividida em três aplicações, aos 15, 30 e 45 dias após a emergência das plantas.

3.3.2. Manejo de Irrigação

O manejo da irrigação foi realizado através do molhamento das unidades amostrais com a frequência diária, onde a irrigação foi realizada de maneira manual e via solo.

Com o intuito de simular uma área degradada, em que a água disponível neste ambiente é a água proveniente de chuva, a irrigação no experimento foi realizada somente superficialmente, ou seja, adicionando água no solo a partir do molhamento na superfície do solo.

3.4. Variáveis Analisadas

Foram realizadas 5 avaliações quinzenais de acompanhamento do desenvolvimento do experimento, onde a primeira avaliação iniciou aos 60 DAE, o corte e as avalições finais do experimento foram realizadas aos 120 DAE.

Para as avaliações quinzenais de acompanhamento do experimento, foram analisadas as seguintes variáveis:

- Altura de planta: Medida em centímetros com o auxílio de régua graduada do colo ao ápice da planta em (cm) e calculada a média por unidade experimental.
- Diâmetro do coleto (cm): com auxílio de um paquímetro foi mensurado o diâmetro na base de cada planta e, posteriormente foi calculada a média por unidade experimental.
- Índice de Clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development): Determinação indireta do teor de clorofila, com o auxílio do aparelho Minolta SPAD-502. Para esta análise, foi mensurado o folíolo do ápice da folha, localizado no terço médio da planta, além disso, foram coletadas 3 folhas por plantas e posteriormente foi realizada a média por unidade experimental. O aparelho Minolta SPAD-502 é um clorofilômetro portátil que proporciona leitura instantânea, de maneira não destrutiva, sendo uma alternativa para avaliar o estado de N da planta em tempo real, pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de N na folha (Gil et al., 2002; Fontes & Araújo, 2007).

Para as avaliações finais do experimento, realizadas após o corte das plantas, as variáveis analisadas foram:

- Massa úmida da parte aérea e raiz: na ocasião da colheita, o material vegetal foi pesado em balança semi analítica para a determinação da massa.
- Massa seca da parte aérea e raiz: O material vegetal foi colhido por ocasião do corte, seco em estufa com circulação forçada de ar a 65ºC por 72 horas até atingir massa constante e após a secagem, foi pesado em balança semi analítica para a determinação de massa.
- Volume de raiz: As raízes foram lavadas e posteriormente colocadas em uma proveta de volume conhecido. Por diferença entre o volume de água necessário para completar a proveta contendo a raiz, foi determinado o volume de raízes de cada tratamento, obtidas em cm^3.

Além das variáveis supracitadas, foi avaliado o pH do solo por ocasião dos cortes das plantas. Para a realização desta análise, foi coletado uma amostra de solo, com volume de 10 cm^3, em cada unidade experimental. Em seguida, foi adicionado 25 ml da solução de $CaCl_2$ a 0,01 mol em cada amostra, que após ser agitada com auxílio de bastão de vidro, ficou em repouso pelo período de 1h. Por fim com auxílio de pHmetro, foi realizada a leitura do pH.

3.5. Análises Estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o utilizando o Software R® (R CORE TEAM, 2019) com análise de variância a nível de 0,05 de significância. Foi realizado análise de regressão para os fatores densidade de solo e doses de cinza vegetal a nível de 0,05 de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. pH do Solo

Em análise ao pH do solo no momento da colheita do experimento, após um período de 135 dias (desde a incubação da cinza vegetal junto ao solo até a data final do experimento), observou-se diferença significativa para as doses de cinza incorporadas ao solo, ajustando ao modelo quadrático de regressão (Figura 4). Foi constatado um aumento significativo do pH do solo na ordem de 30% quando comparado ao tratamento com maior dose de cinza vegetal (32 g dm^{-3}) em relação ao tratamento sem aplicação do resíduo, demonstrando, assim, o potencial da cinza vegetal em reduzir a acidez do solo.

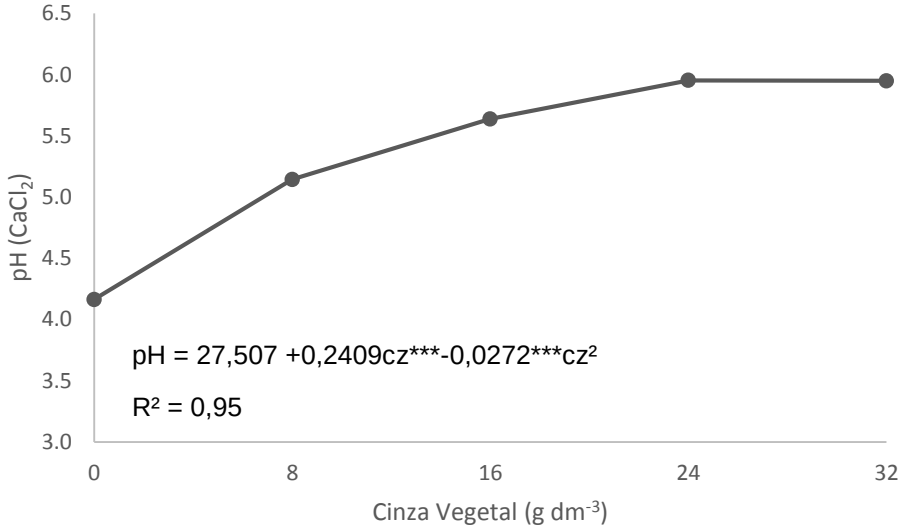

Figura 4: pH ($CaCl_2$) do solo aos 135 dias após a reação do solo quando submetido a diferentes doses cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico. *** Significativo a 0,1% de probabilidade, respectivamente. (cz= dose de cinza vegetal).

O aumento do pH do solo com aplicação da cinza vegetal também foi constatado nos estudos de Martinez Santos (2018), onde após 45 dias de reação do solo com a cinza vegetal, obteve um aumento significativo do pH do solo na ordem de 33% quando se comparou o tratamento de 32 g dm^{-3} com o tratamento controle.

Neste mesmo contexto, Dourado (2020), também obteve aumento do pH do solo, verificado aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação da cinza vegetal ao solo.

O efeito de correção da acidez do solo pela cinza pode ser atribuído à sua alta alcalinidade, às propriedades de neutralização e à presença de carbonatos de Ca, Mg e K no resíduo (ERICH & OHNO, 1992; SIRIKARE et al., 2015).

4.2. Resultados das Avaliações de Desenvolvimento da Planta

Foram realizadas 5 avaliações quinzenais, onde a primeira avaliação iniciou aos 60 dias após emergência (DAE).

As análises de variância para as avaliações referentes às alturas das plantas, diâmetro de caule e leitura SPAD, contendo os valores dos quadrados médios para cada variável em função das densidades do solo e dose de cinza vegetal e a interação entre ambos estão apresentadas na Tabela 4. Foi observado que para as variáveis analisadas por ocasião da avaliação do experimento não houve interação significativa entre os fatores densidade do solo e dose de cinza.

Tabela 4: Resumo da análise de variância, contendo os valores dos quadrados médios para cada variável em função das densidades do solo e dose de cinza vegetal e a interação entre ambos.

Fonte de Variação	Densidade	Cinza	Densidade x Cinza	Resíduo	CV%	Média
Variáveis	QM	QM	QM			
Altura das plantas aos 60 DAE (cm)	42852*	26,2184***	2,164ns	1,259	24,34	4,61
Altura das plantas aos 75 DAE (cm)	16,217**	141,842***	5,857ns	3,571	35,71	5,29
Altura das plantas aos 90 DAE (cm)	51,42***	330,96***	11,25ns	6,38	35,22	7,17
Altura das plantas aos 105 DAE (cm)	79,90***	662,60***	17,41ns	11,19	35,57	9,40
Altura das plantas aos 120 DAE (cm)	138,19**	1200,04***	39,18ns	27,25	36,31	14,38
Diâmetro de Caule aos 60 DAE (mm)	0,36078**	0,93593***	0,09744ns	0,08615	22,62	1,30
Diâmetro de Caule aos 75 DAE (mm)	1,7095**	7.4877***	0,4797ns	0,4580	40,14	1,69
Diâmetro de Caule aos 90 DAE (mm)	1,5535*	19,4845***	0,6164ns	0,5261	32,99	2,20
Diâmetro de Caule aos 105 DAE (mm)	3,372**	41,369***	0,929ns	0,752	30,89	2,81
Diâmetro de Caule aos 120 DAE (mm)	3.592*	56,582***	1,482ns	1224	31,23	3,53
SPAD aos 60 DAE	100,97ns	483,89***	37,32ns	53,25	38,91	18,75
SPAD aos 75 DAE	24,23ns	721,58***	57,32ns	66,43	43,72	18,64
SPAD aos 90 DAE	27,69ns	1457,16***	61,81ns	63,40	40,96	19,44
SPAD aos 105 DAE	7,74ns	909,72***	68,11ns	41,59	35,95	17.94
SPAD aos 120 DAE	41,74ns	1179,60***	67,55ns	60,23	37,14	20.9

4.2.1. Altura das Plantas

Para a avaliação de altura das plantas, em todos os períodos de avaliação foi verificado efeito de forma isolada entre os fatores densidades do solo em subsuperfície e as doses de cinza vegetal (Figuras 5 e 6).

Ao analisar a altura das plantas em relação ao fator densidade de solo em subsuperfície, foi observado que aos 60, 75 e 90 dias após emergência, obteve-se ajuste a modelo linear de regressão, onde houve aumento crescente na altura das plantas com a compactação do solo. Para as avaliações realizadas aos 105 e 120 dias após emergência, foi obtido ajuste a modelo quadrático de regressão, com altura de plantas máxima de 10,68 e 15,75 cm para densidade de solo em subsuperfície de 1,46 e 1,32 Mg m^{-3}, respectivamente (Figura 5). Na Figura 7 está representado a altura em função das densidades 1,4 e 1,6 Mg m^{-3} aos 120 dias após emergência.

Ao analisar a altura das plantas em relação ao fator cinza vegetal, foi observado que aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após emergência, obteve-se ajuste a modelo quadrático de regressão, com altura de plantas máxima de 5,12; 7,68; 10,85; 12,24; 22,91 cm quando se aplicou a cinza vegetal na dose de 5,68; 10,62; 11,40; 14,91; 12,91 g dm^{-3}, respectivamente (Figura 6). Na Figura 8 está representado a altura em função das doses de cinza 8 e 16 g dm^{-3} aos 120 dias após emergência.

Segundo Bonfim-Silva et al. (2011 c), avaliando o efeito de cinza vegetal em plantas de *Crotalária juncea*, onde a maior altura das plantas de *Crotalária juncea*, foi observada na dose de cinza vegetal 12,16 g dm^{-3}, quando comparado a dose que proporcionou a máxima altura (39,70 cm) com o tratamento com ausência de adubação com cinza vegetal (testemunha), houve um incremento de 75,51% na altura das plantas.

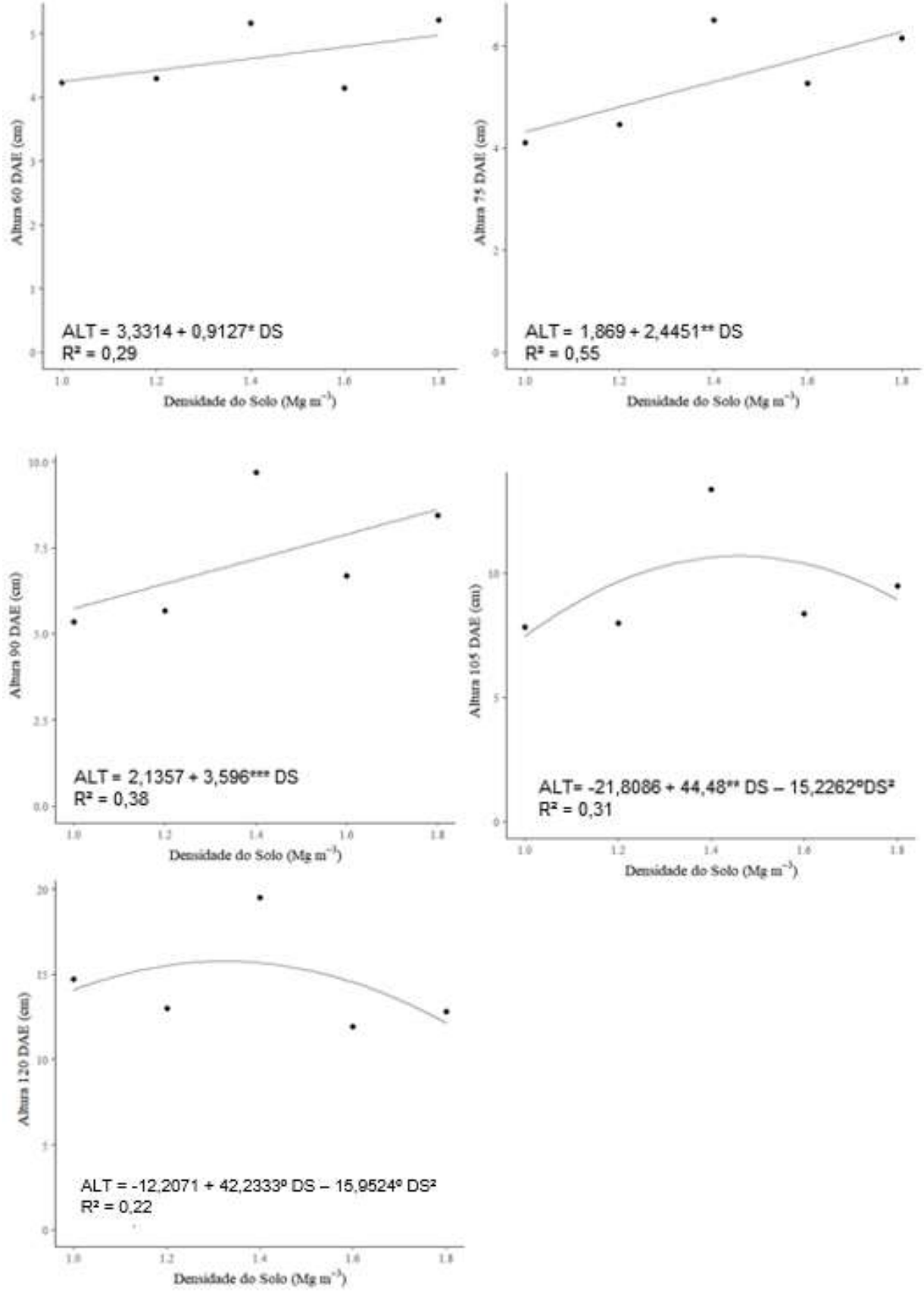

Figura 5: Altura de plantas de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função da densidade de solo em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

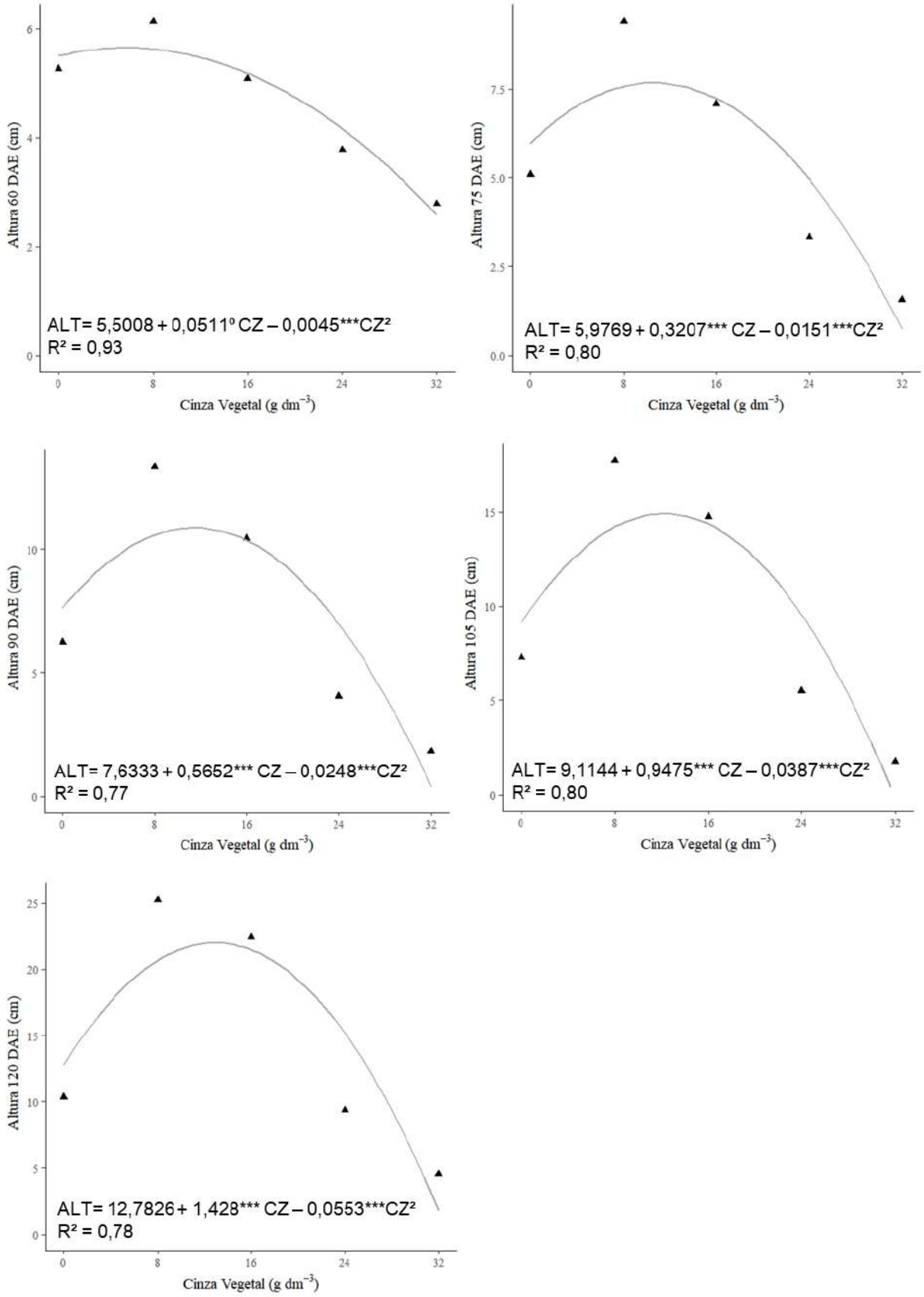

Figura 6: Altura de plantas de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Figura 7: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob densidade de 1,4 Mg m^{-3} (A), 1,6 Mg m^{-3} (B), nas doses de cinza vegetal de 0, 8, 16, 24 e 32 g dm^{-3}, respectivamente.

Figura 8: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob doses de cinza vegetal de 8,0 g.dm^{-3} (A) e 16 g.dm^{-3} (B), nas densidades de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}, respectivamente

4.2.2. Diâmetro de caule

Para a avaliação do diâmetro de caule, em todos os períodos de avaliação foi verificado efeito de forma isolada entre os fatores densidades do solo em subsuperfície e as doses de cinza vegetal (Figuras 9 e 10).

Observou-se que para o fator densidade do solo em subsuperfície foi obtido ajuste a modelo linear de regressão, aos 60, 75, 90, 105 e 120 DAE. Foi observado aumento crescente no diâmetro do caule com a compactação do solo em subsuperfície (Figura 9).

Uma hipótese que mostra o efeito benéfico da compactação do solo em subsuperfície para aumento no diâmetro de caule é devido concentração da solução do solo e seus nutrientes na camada superficial da unidade experimental, assim como, maior contato das raízes com o solo na camada em subsuperfície.

Resultado semelhante foi apontado por Previtali, et al. (2012) com a cultura de pupunheira, foi identificado que o melhor desempenho das mudas foi alcançado com a densidade do substrato de 1,64 g cm^{-3}, mostrando efeito benéfico de leve compactação do substrato para a produção de mudas.

Ao avaliar o fator cinza vegetal, nota-se que foi obtido ajuste a modelo quadrático de regressão, aos 60, 75, 90, 105 e 120 DAE, com diâmetro de caule de máximo de 1,5; 2,2; 3,1; 4,2; 5,2 cm, quando se aplicou a cinza vegetal na dose de 11,4; 10; 11,1; 11,6; 12,2 g dm^{-3}, respectivamente (Figura 10).

Resultado semelhante foi descrito Bonfim-Silva et al. (2011 c), avaliando o efeito de cinza vegetal em plantas de *Crotalária juncea*, onde resultados para diâmetro do caule mostram efeito significativo quanto ao aumento das doses de cinza vegetal. A dose que proporcionou maior diâmetro de caule foi de 11,70 g dm^{-3}, com diâmetro de 4,99 mm. Houve incremento de 69,7%, quando comparado a dose de cinza vegetal que proporcionou máximo diâmetro de caule com o tratamento com ausência da adubação com cinza vegetal.

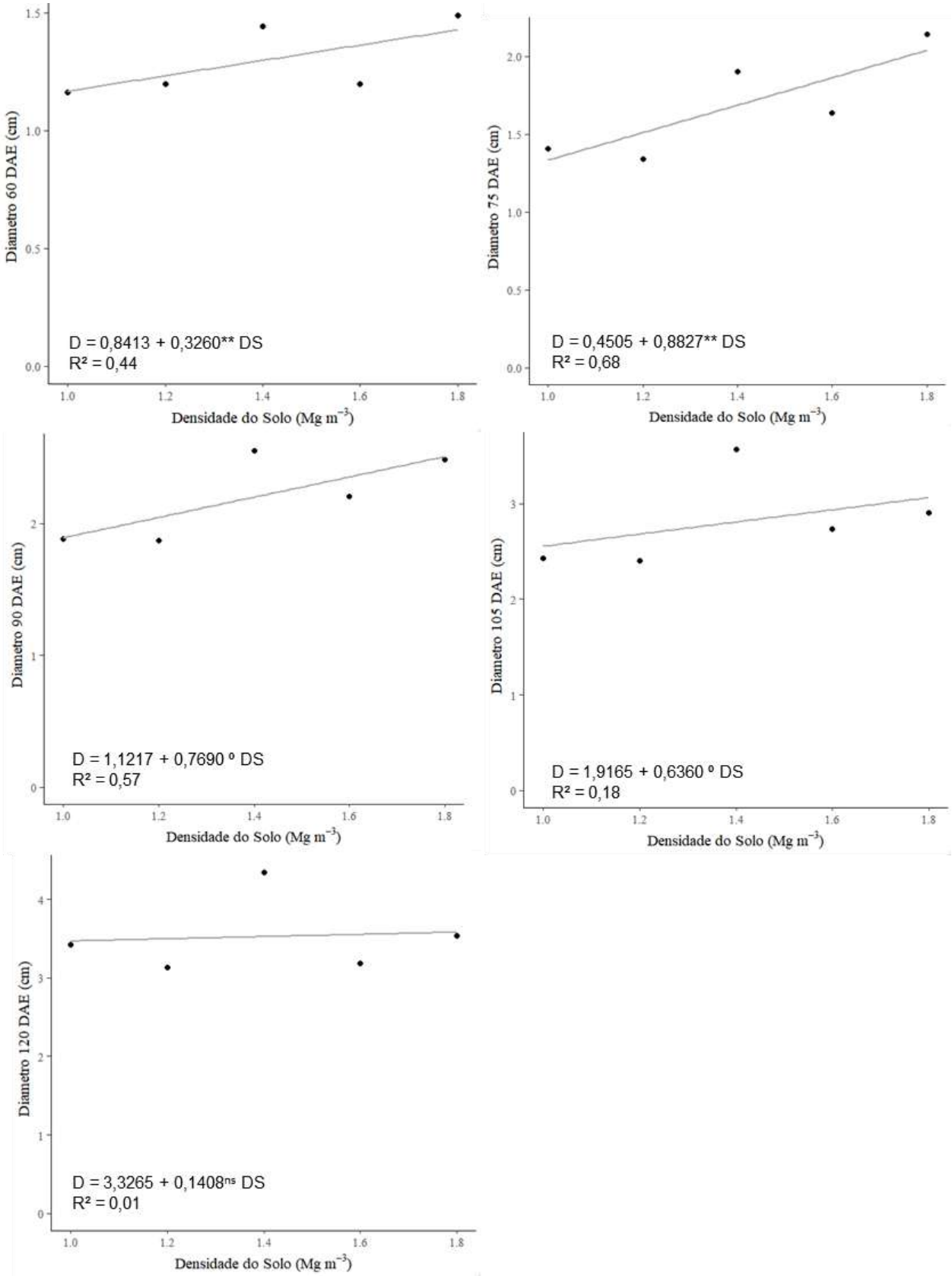

Figura 9: Diâmetro de caule de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função da densidade de solo em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

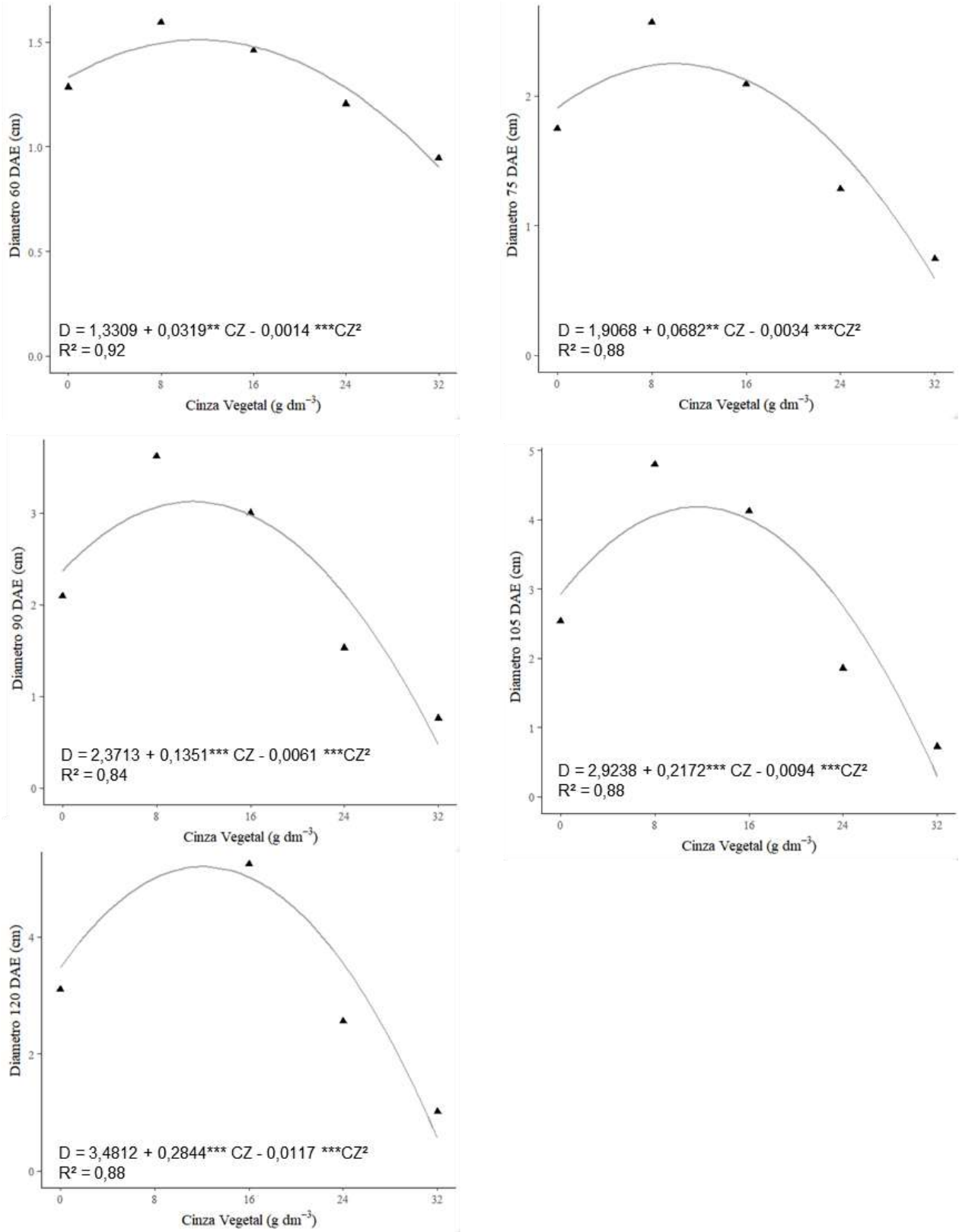

Figura 10: Diâmetro de caule de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.2.1. Leitura SPAD

Ao avaliar a leitura SPAD foi constado que houve efeito significativo apenas para o fator dose de cinza vegetal no período avaliado. Para o fator densidade do solo em subsuperfície, não houve diferença estatística, de acordo com o teste F a 5% de probabilidade.

Ao avaliar o fator cinza vegetal, nota-se que foi obtido ajuste a modelo quadrático de regressão, aos 60, 75, 90, 105 e 120 DAE, com leitura de SPAD máxima 23,6; 23,9; 27,2; 24,3; 28, quando se aplicou a cinza vegetal na dose de 11,6; 7,8; 7,3; 8,1; 4,4 g dm^{-3}, respectivamente (Figura 11).

Em estudos de BONFIM-SILVA, E. M. et al. (2013), foi observado que a cinza vegetal proporcionou aumento linear no teor de clorofila (leitura SPAD) no crescimento do capim-marandu.

Como a leitura SPAD está diretamente relacionada com o teor de clorofila e avaliação da nutrição nitrogenada (MANARIM, 2003; BONFIM-SILVA & MONTEIRO, 2010), observa-se que a cinza propiciou melhor aproveitamento do nitrogênio, o que pode estar associado ao fornecimento de potássio e magnésio por esse resíduo, uma vez que existe uma relação nitrogênio:potássio preconizada em 3:1 (MEGDA & MONTEIRO, 2010) e o magnésio é componente central da molécula de clorofila. Estima-se que de 50 a 70% do nitrogênio total das folhas são integrantes de compostos associados aos cloroplastos e ao conteúdo da clorofila nas folhas (CHAPMAN & BARRETO, 1997).

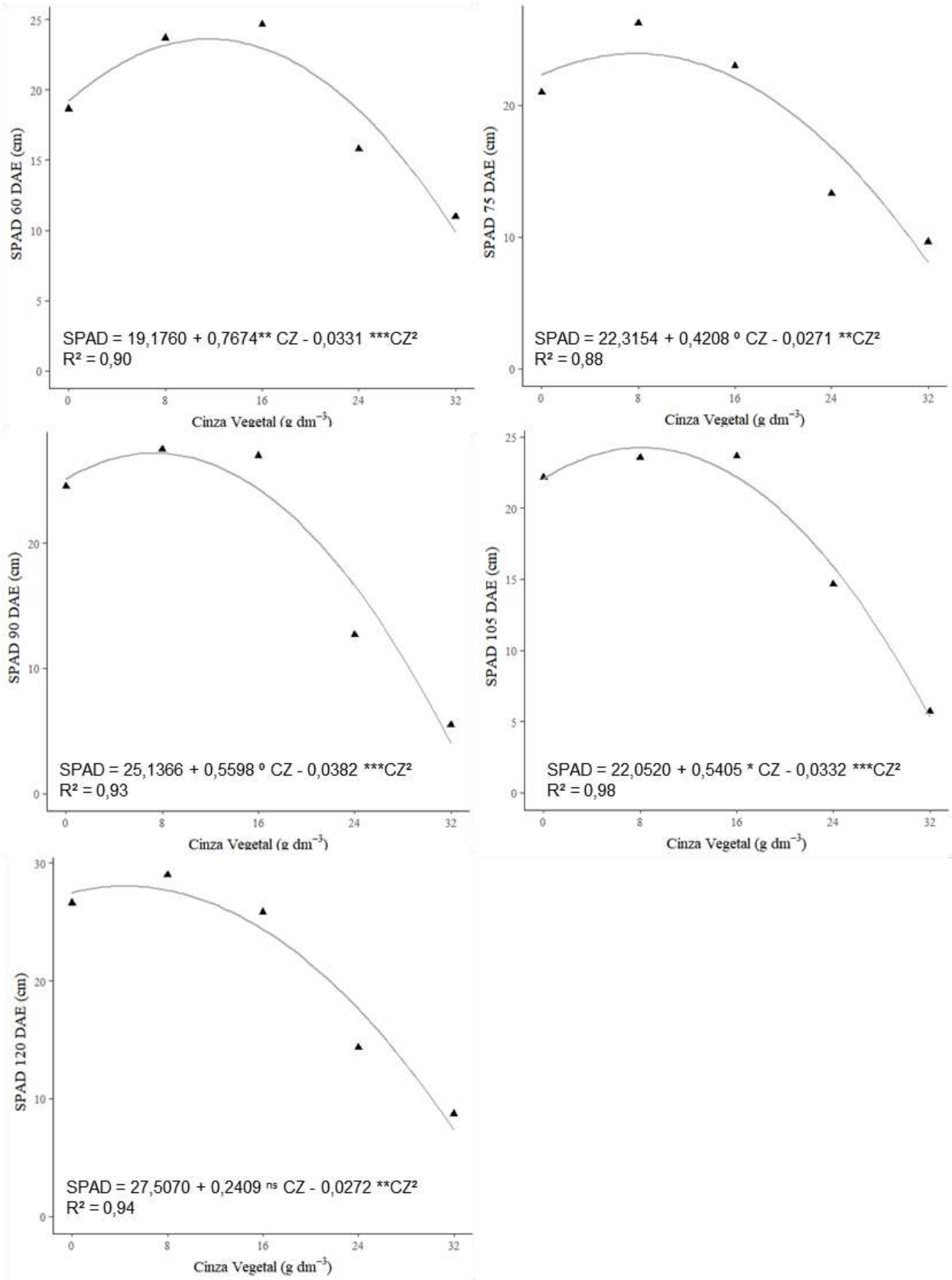

Figura 11: Leitura SPAD de *Jacaranda cuspidifolia* aos 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico.º, *, **, *** Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.3. Resultados das Avaliações Finais do Experimento

O resumo da análise de variância para as fontes de variação da etapa da coleta final, contendo os valores dos quadrados médios para cada variável em função das densidades do solo em subsuperfície e dose de cinza vegetal e a interação entre ambos estão apresentadas na Tabela 5. Foi observado que para as variáveis analisadas por ocasião da colheita não houve interação significativa entre os fatores densidade do solo e dose de cinza.

Tabela 5: Resumo da análise de variância, por ocasião da coleta final, contendo os valores dos quadrados médios para cada variável em função das densidades do solo e dose de cinza vegetal e a interação entre ambos.

Fonte de Variação	Densidade	Cinza	Densidade x Cinza	Resíduo	CV%	Média
Variáveis	QM	QM	QM			
MSPA (g)	141,64***	1198,74***	28,84ns	20,02	48,24	9,28
MSRAIZ (g)	17,644ns	224,548***	8,793ns	7,102	74,06	3,60
MUPA (g)	1162,6***	8659,7***	264,5ns	146,5	46,28	26,15
MURAIZ (g)	600,6**	6138,6***	206,8ns	132,2	53,46	21,51
VOLUME RAIZ (cm^3)	2146**	25861,7***	700,6ns	508,4	48,84	46,17

4.3.1. Massa Úmida Parte Aérea (Folhas + Caule)

Na análise da massa úmida da parte aérea (MUPA), contemplando o caule e as folhas, não foi observado interação significativa para os fatores densidade do solo em subsuperfície e dose de cinza vegetal, entretanto, isoladamente esses fatores foram significativos.

A produção de massa úmida da parte aérea ajustou-se ao modelo quadrático para ambos os fatores analisados. Ao analisar os níveis de densidade de solo em subsuperfície foi observado produção máxima de MUPA de 31,33 g para densidade de solo de 1,32 Mg m^{-3} (Figura 12 A). Ao avaliar o parâmetro cinza vegetal observa-se maior valor de MUPA de 46,58 g, quando o solo recebeu a dose de cinza vegetal de 12,91 g dm^{-3} (Figura 12 B).

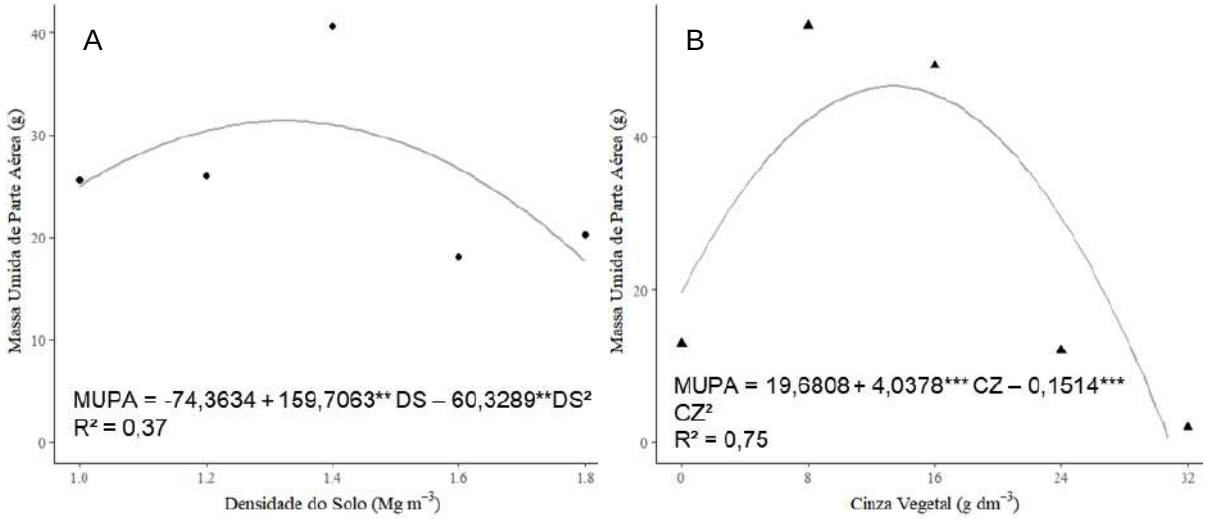

Figura 12: Massa úmida parte aérea (MUPA) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.3.2. Massa Seca Parte Aérea (Folhas + Caule)

A massa seca da parte aérea (MSPA), contemplando o caule e as folhas, não obteve interação significativa para os fatores densidade do solo em subsuperfície e dose de cinza, entretanto, isoladamente esses fatores foram significativos.

A produção de MSPA ajustou-se ao modelo quadrático para ambos os fatores analisados. Ao analisar os níveis de densidade de solo em subsuperfície foi observado produção máxima de MSPA de 11,01 g para densidade de solo de 1,37 Mg m^{-3} (Figura 13 A).

Ao avaliar o parâmetro cinza vegetal observa-se um ponto de máxima de 16,72 g, quando o solo foi adubado com cinza vegetal na dose de 13,23 g dm^{-3} (Figura 13 B).

Resultado divergente foi obtido por Maeda et al. (2008), em estudos com aplicação de cinza em plantio de *Pinus taeda*, foi observado que não houve efeito da aplicação de doses de cinza no desenvolvimento das mudas.

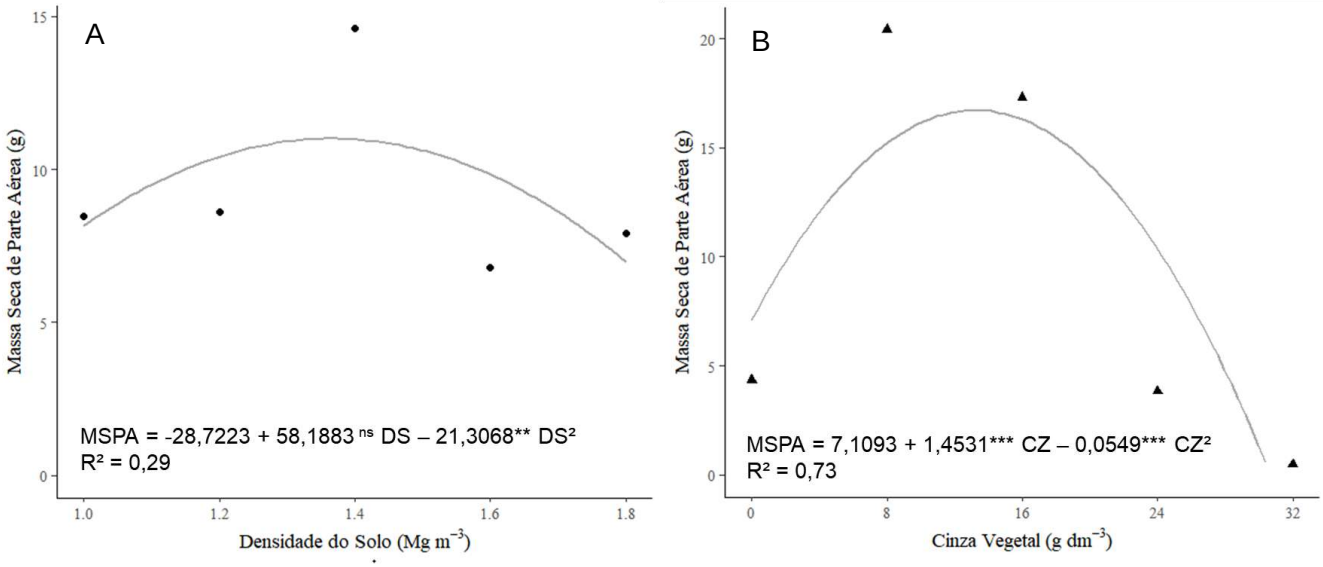

Figura 13: Massa seca parte aérea (MSPA) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.3.3. Massa Úmida Raízes

A massa úmida de raiz, não obteve interação significativa para os fatores densidade do solo e dose de cinza, entretanto, isoladamente esses fatores foram significativos.

Para o parâmetro densidade do solo foi observado influência na produção de massa úmida de raiz com ajuste ao modelo linear decrescente conforme se aumentou os níveis de densidade do solo (Figura 14 A). Entretanto, para o parâmetro cinza vegetal, foi obtido ajuste a modelo quadrático de regressão, com produção de massa úmida de raízes máxima de 37,95 g quando se aplicou a cinza vegetal na dose de 12,91 g dm^{-3} (Figura 14 B).

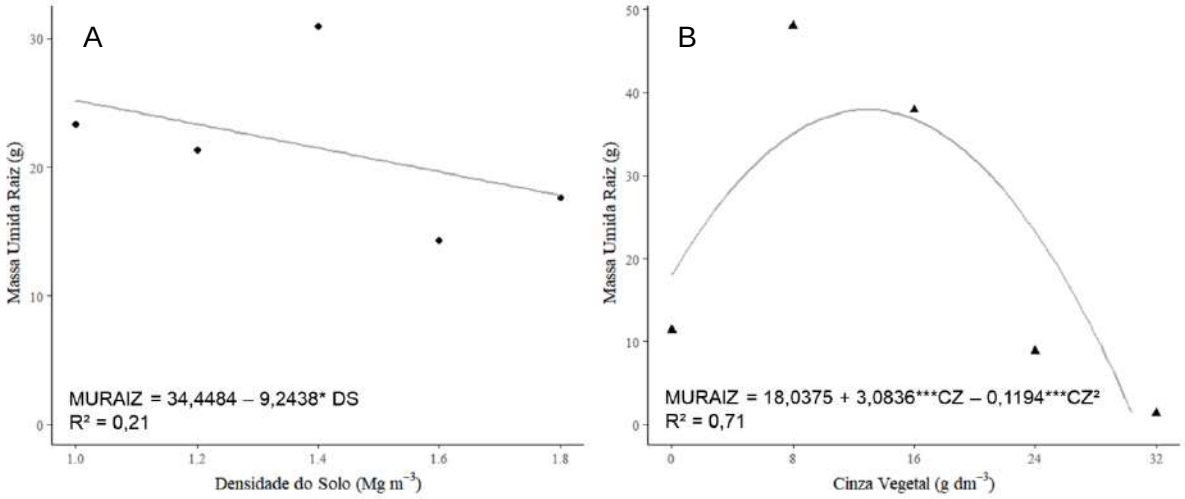

Figura 14: Massa úmida de raiz (MURAIZ) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.3.4. Massa Seca Raízes

Ao avaliar a massa seca da raiz, foi observado que não houve interação significativa para os fatores densidade do solo e dose de cinza. Ao analisar isoladamente esses fatores, somente o fator dose de cinza houve resultados significativos.

Foi observado que para as doses de cinza vegetal, foi obtido ajuste a modelo quadrático de regressão, com produção de massa seca de raízes máxima de 6,43 g quando se aplicou a cinza vegetal na dose de 12,68 g dm^{-3} (Figura 15).

O desenvolvimento radicular do *Jacaranda cuspidifoli* foi fortemente influenciado pelo acréscimo das doses de cinza vegetal incorporadas ao solo.

De acordo com Ernani et al. (2000), a acidez do solo é um dos fatores que mais limita a produção agrícola em solos tropicais, em decorrência da toxidez por alumínio e de baixos níveis de fósforo, cálcio e magnésio no solo. Em consequência, ocorrem limitações à divisão celular, ao crescimento do sistema radicular e à disponibilidade de nutrientes, afetando tanto o estabelecimento como o desenvolvimento das culturas. Nesse contexto, a aplicação de cinza vegetal ao solo é um meio econômico, rápido e eficiente, pois eleva o pH do solo, diminui a solubilidade do alumínio e aumenta a disponibilidade de nutrientes no sistema de cultivo,

garantindo o melhor desenvolvimento das raízes e um maior aproveitamento de água e nutrientes pela cultura (HANSEN et al., 2017).

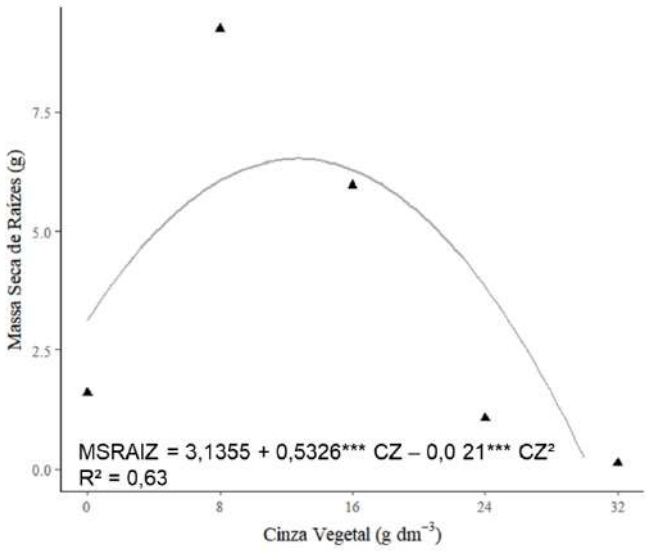

Figura 15: Massa seca de raiz (MSRAIZ) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função das doses de cinza vegetal, em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.3.5. Volume Raízes

Ao analisar o volume de raízes, não foi verificado interação significativa para os fatores densidade do solo em subsuperfície e dose de cinza.

O volume de raiz ajustou-se ao modelo quadrático para ambos os fatores analisados. Ao analisar os níveis de densidade de solo em subsuperfície foi observado volume máximo de raiz de 52,58 cm^3 para densidade de 1,30 Mg m^{-3} em subsuperfície, (Figura 16 A).

Ao avaliar o parâmetro cinza vegetal, obteve-se maior volume de raízes foi igual 79,97 cm^{-3}, quando o solo foi adubado com cinza vegetal na dose 12,64 g dm^{-3} (Figura 16 B).

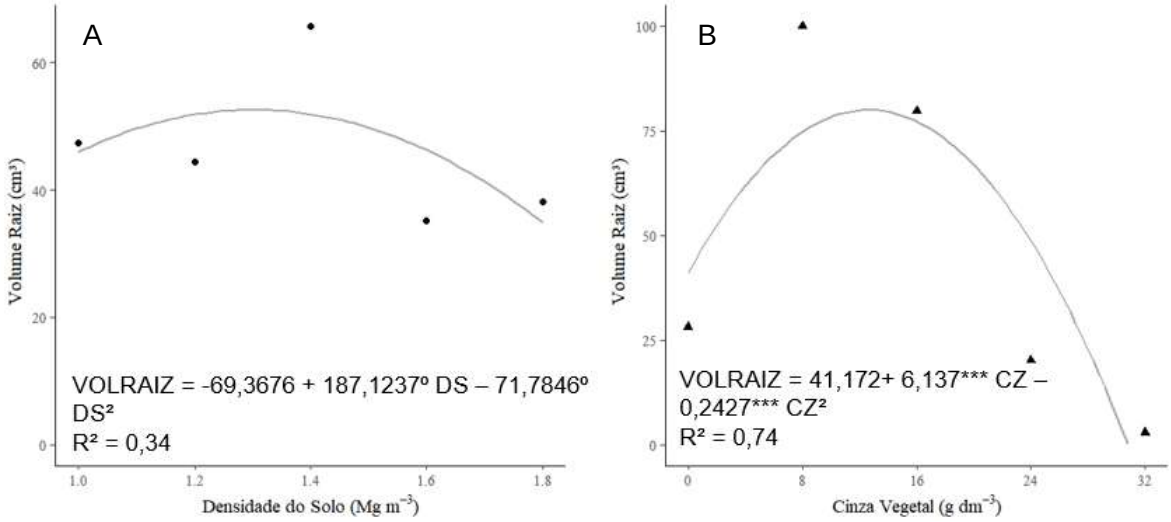

Figura 16: Volume de raiz (VOLRAIZ) de *Jacaranda cuspidifolia*, em função da densidade de solo (A) e doses de cinza vegetal (B) em Latossolo Vermelho distrófico. *, **, *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O desenvolvimento radicular do *Jacaranda cuspidifolia* foi influenciado pelo acréscimo das doses de cinza vegetal incorporadas ao solo, conforme pode ser constatado nas Figuras 17 e 18. Nota-se que mesmo para os níveis mais elevados de densidades do solo, as plantas de *Jacaranda cuspidifolia* apresentaram desenvolvimento satisfatório, quando associado as doses entre 8 e 16 g dm^{-3} de cinza vegetal. Tal fato pode ser atribuído porque para os níveis mais elevados de densidade do solo houve predomínio de desenvolvimento radicular na primeira camada do vaso (0,1m - camada superior e sem compactação) (Figura 19), além disso, para as plantas que apresentaram desenvolvimento satisfatório foi observado também que as raízes passaram pela lateral dos vasos e conseguiram atingir a terceira camada do vaso (0,3m – camada inferior e sem compactação) (Figura 20).

Em estudo de Resende (2021), com o uso da cinza vegetal na germinação e produção de mudas de pimentão, foi constato que o acrescimo de 5% de cinza ao substrato influenciou positivamente a variável volume de raiz.

No que tange ao efeito da densidade do solo para o volume de raiz, em estudos de Lima (2015), foi observado que o volume de raiz na camada superior também foi influenciado pelas densidades do solo independente da espécie avaliada, com os maiores valores na densidade de 1,5 Mg m^{-3}.

Figura 17: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob densidade de 1,0 Mg m^{-3} (A), 1,2 Mg m^{-3} (B), 1,4 Mg m^{-3} (C), 1,6 Mg m^{-3} (D), 1,8 Mg m^{-3} (E), nas doses de cinza vegetal de 0, 8, 16, 24 e 32 g dm^{-3}, respectivamente.

Figura 18: Plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob doses de cinza vegetal de 0 g.dm^{-3} (A), 8,0 g.dm^{-3} (B), 16 g.dm^{-3} (C), 24 g.dm^{-3} (D) e 32 g.dm^{-3} (E), nas densidades de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}, respectivamente.

Figura 19: Vista entre as camadas de 0,1-0,2m do vaso com plantas de *Jacaranda cuspidifolia* sob densidade de solo de 1,8 Mg m^{-3}, na dose de cinza de 16 g dm^{-3}, respectivamente.

Figura 20: Vista do sistema radicular de *Jacaranda cuspidifolia* na unidade experimental com densidade do solo 1,4 Mg m-3 e dose de cinza vegetal de 16 mg dm-3.

5. CONCLUSÃO

Ao avaliar o desempenho das plantas de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. em casa de vegetação, constata-se que não houve efeito da cinza vegetal associada a níveis de densidade do solo em subsuprefície.

Entretanto avaliando estes parâmetros isoladamente, observa-se que a adição de cinza vegetal melhorou o desempenho das plantas de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. até a dose de 16 g dm^{-3}.

No que tange o efeito da densidade do solo em relação ao desempenho das plantas de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. foi observado que mesmo para os níveis mais elevados, as plantas apresentaram respostas satisfatórias.

Constata-se que mesmo não apresentando interação entre os fatores, quando houve suplementação adequada, através da aplicação de cinza vegetal na dose de 16 g dm^{-3}, as plantas de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. conseguiram se desenvolver satisfatoriamente em um solo com compactação em subsuperfície até nível de 1,4 Mg m^{-3}. Desta forma, constata-se que há um potencial para o emprego da cinza vegetal em projetos de recuperação de áreas degradadas, mesmo em condições de compactação do solo em subsuperfície.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAKUKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; VAN DER LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C. & SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions. Soil Tilleage Research., v. 73, n.2, p.145- 160, 2003.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 4, p.1065-1073, 2002.

ARAKI, D. F. AVALIAÇÃO DA SEMEADURA A LANÇO DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Dissertação Mestrado (Ecologia de Agroecossistemas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2005.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. 185 p. 1997.

BEZERRA, M. D. L. ; BONFIM-SILVA, E. M. ; SILVA, T. J. A. ; SOUSA, H. H. F. ; DUARTE, T. F. ; ANICESIO, E. C. A. ; PACHECO, A. B. . Wood ash on the fertilization of marandu grass in Brazilian cerrado soils. African Journal of Agricultural Research , v. 11, p. 1504-1510, 2016.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n.4, p.605-614, 2006.

Brasil – CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Resolução de n° 460/2013 de 30/12/2013. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o

gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasilia – DF, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 39, n. 8, p. 1641-1649, 2010.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. da; CABRAL, C. E. A.; et al. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. Revista Caatinga, Mossoró, v.24, n.2, p.180-186, 2011a.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A; et al. Características morfológicas e estruturais de capim-marandu adubado com cinza vegetal em Latossolo Vermelho do Cerrado. Enciclopédia Biosfera, Centro Cientifico Conhecer, Goiânia, v.7, n. 2, p.1-9, 2011b.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L.;POLIZEL, A, C. Desenvolvimento e produção de Crotalária juncea adubada com cinza vegetal. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011c.

BONFIM-SILVA, E. M; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. Bioscience Journal, v. 29, n. 5, p. 1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M. Cinza vegetal e Biochar na agricultura. Maringá, PR: Uniedusul, 2020.

BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; ROSATTO, H.; FERRERO, C. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. Soiland Tillage Research, v.86, n.1, p.9-14, 2006.

CALONEGO J. C. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. Bioscience Journal, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2011.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. Agronomy Journal, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CHIRENJE, T. MA L.Q. Impact of high volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrient status Communications. Soil Science and Plant Analysis, v.33, n.1, 2002.

COELHO, P.; COSTA, M. **Combustão**. Edições Orion, Amadora, 2007. 714p.

COSTA, A.; ROSOLEM, C.A.; TORRES, H. Distribuição de raízes de leguminosas em função de alterações nas características químicas e físicas em solos do Paraná . In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracajú Anais...Aracajú, 1999. p.191-202.

CURI, N.; LARAC H, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. Vocabulário da ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

DAROLT, M. R.; OSAKI. F. Efeito da cinza de caeira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes. 1989, 33p. In: Calagem & Adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991.

DAROLT, M. R.; BIANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. Horticultura Brasileira, v. 11, n.1, p.38-40,1993.

DEMEYER, A., NKANA, J.C.V., VERLOO, M.G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology, v.77, p.287-295, 2001.

DOURADO, L., G., A. Cinza Vegetal e Disponibilidades Hídricas na Cultura do Feijão-mungo-verde em Latossolo Vermelho do Cerrado. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá, 2020.

DUARTE, T.; F. SILVA, T.; J.; A. BONFIM-SILVA, E.; M. Cinza vegetal nos atributos físicos do solo. Capítulo 03 *in* BONFIM-SILVA, E. M. Cinza vegetal e Biochar na agricultura. Maringá, PR: Uniedusul, 2020.

DUTRA, T.R.; MASSAD, M.D. ; MATOS, P. S. ; SARMENTO, M. F. Q. ; OLIVEIRA, J. C. . Crescimento inicial e qualidade de mudas de caviúna-do-cerrado e caroba-docampo em resposta à adubação nitrogenada. Agropecuária Científica no Semi-Árido, v. 11, p. 52-61, 2015.

ERICH, M. S.; OHNO, T. Titrimetric determination of calcium carbonate equivalence of wood ash. Analyst, v. 117, p. 993-995, 1992.

ENGEL, V.L.; PARROTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Ed.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF, 2003. cap.1, p.3-26.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 537- 544, 2000.

FAGUNDES, E.A.A., DA SILVA, T.J. AND BONFIM-SILVA, E.M. Initial Development of Varieties of Sugarcane in Oxisol Subjected to Levels of Soil Compaction. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.2, p.188-193, 2014.

FONTES PCR; ARAÚJO C. Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro. Viçosa: UFV. 148p. 2007.

GIL PT; FONTES PCR; CECON PR; FERREIRA FA. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. Horticultura Brasileira 20: 611-615. 2002.

GOMES, F. P. Adubos e adubações. São Paulo: Edição Melhoramentos, 1968. 188p

Griffin,T.S. Using Wood Ash on Your Farm. Bulletin #2279. The University of Maine., Maine-EUA. 2018.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. Soil and Tillage Research, v. 82, n.2, p. 121-145, 2005.

HANSEN, M.; BANG-ANDREASEN, T.; SØRENSEN, H.; INGERSLEV, M. Micro vertical changes in soil pH and base cations over time after application of wood ash on forest soil. Forest Ecology and Management, v.406, p.274-280, 2017.

HENDERSON, C.W. Lupin as a biological plough: evidence for, and effects on wheat growth and yield. Aust. J. Exp. Agric., 29:99-102, 1989.

HERRADA, M.R.; LEANDRO, W.M.; FERREIRA, E.P.B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milheto em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. Terra latino-americana, v.35, n.4, 2017.

HERTEL, D.; LEUSCHNER, C.; HÖLSCHER, D. Size and structure of fine root systems in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). Biotropica, v.35, n.2, p.143-153, 2003.

ISLABÃO, G. O. et al. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, n.1, p. 1–13, 2016.

JOHN, B.; PANDEY, H.N.; TRIPATHI, R.S. Decomposition of fine roots of Pinus Kesiya and turnover of organic matter, N and P of coarse and fine pine roots and herbaceous roots and rhizomes in subtropical pine forest stands of different ages. Biology and Fertility of Soils, v.35, p.238-246, 2002.

LIMA, L., B.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. Manejo de Solo, Água e Planta. Rev. brasileira de engenharia agrícola e ambiental. 2015.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 352p.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de Pinus taeda à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 56, n.1, p.43- 52, 2008.

MEGDA, M. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 39, n. 8, p. 1666-1675, 2010.

MANARIM, C. A.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v. 59, n. 2, p. 115-123, 2003

MAPA, (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO), Instrução normativa sda nº 17, Métodos para análise de substratos para plantas e condicionadores de solos, 2006.

MARTINS, S. V. Recuperação de Áreas Degradadas: Ações em Áreas de Preservação Permanente, Voçorocas, taludes rodoviários e de Mineração. Editora Aprenda Fácil, Viçosa, Minas Gerais, 3ª ed. 264p., 2014.

MARTINEZ SANTOS, T. Compactação do Solo e Adubação com Cinza Vegetal na Cultura do Cártamo em Solo do Cerrado Mato-Grossense. Dissertação (Mestrado) –

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá, 2018.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. Manejo de Irrigação em Hortaliças com Sistema Irrigas®. 2009. Disponível em: <http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2009/ct/ct.69.pdf>.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. CARRIJO, O. A. Avaliação de sensores do tipo irrigas® para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substrato. Irriga, v. 10, n.1, 2005

MELLO, C.M.C.; EIRA, M.T.S. Conservação de sementes de jacarandá mimoso (*Jacaranda acutifolia* Humb & Bompl.)- Bignoniaceae. Revista Brasileira de Sementes, v.17, n.2, p.193-196, 1995.

MELO, M. P.; PETERNELI, L. A. Conhecendo o R: Uma visão mais que estatística. Viçosa, MG: UFV, 2013. 222p.

MORAES, M. A.; MORAES S. M. B.; SILVA E. C. B.; KUBOTA T. Y. K.; SILVA A. M.; RESENDE M. D. V.; MORAES M. L. T. Variação genética em progênies de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. utilizando o delineamento sistemático tipo “leque”.
Sci. For., Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 175-183, jun. 2013.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H. & LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. Bragantia, 54:393-403, 1995.

MULLER, M.M.L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SUBSUPERFÍCIE SOBRE O CRESCIMENTO AÉREO E RADICULAR DE PLANTAS DE ADUBAÇÃO VERDE DE INVERNO. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:531-538, 2001.

NBR (Normas Brasileiras) 10004. Norma Brasileira. “Resíduos Sólidos Classificação”. 2004.

Neri, A. C.; Sánchez, L. E. A eficácia das medidas de recuperação ambiental implantadas em minas de calcário para cimento. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 63(2): 371-378, abr. jun. 2010;

NUNES J. A, BONFIM-SILVA E. M, SILVA T. J. Bulk density and water tensions in the soil on corn root production. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n.34, p. 357-363. 2016.

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. Revista Setor Ciências Agrárias, v. 11, n. 1, 1991.

PANTANO, G. GROSSELI, G. M. MOZETO, A. A. FADINI, P. Sustentabilidade do uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. Química Nova. v. 39, n.6, p. 732-740, 2016.

PARROTTA, J.A. Secondary forest regeneration on degraded tropical lands: the role of plantations as “foster ecosystems”. In: LIETH, H.; LOHMANN, M. (Ed.). Restoration of tropical forest ecosystem. The Hague: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.63-73.

POTT, A.; POTT, V.J. Plantas do Pantanal. Corumbá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, 1994. 320 p.

PRADO, R. M. et al. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. Acta Scientiarum, v. 24, p. 1493–1500, 2002

PREVITALI, R.V.Z. TUCCI, M. L. S. ARRUDA, F. B. PIRES, R. C. M. LAGÔA. A. M. M. A. Efeito da Compactação do Substrato no Crescimento de Mudas de Pupunheira. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.36, n.2, p.259-268, 2012

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/. 2019.

RAJAMMA, R.; BALL, R. J.; LUIS, A. C.; TARELHO, S.; ALLEN, G. C.; Characteristics and use of biomass fly ash in cement based materials. **Journal Hazard Mater**, n.172, p.1049-1060, 2009.

REFLORA - Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira. Disponível em: http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC.do. Acesso em 06/09/2019.

REZENDE, J. S.; CARVALHO, A. C. C.; MOURA, G. A.; SANTOS, J. R. M. M.; SOUSA, R. S.; SOUSA, V. P. C.; ARAÚJO, V. S.; LUZ, P. S. Uso da cinza vegetal na germinação e produção de mudas de pimentão. Ciencia Agricola, Rio Largo, v. 19, n 2. P 85-93. 2021.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R; LEITÃO. FILHO, H. F. (Ed.). Matas ciliares (conservação e recuperação), São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p. 235-247.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H. & MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. R. Bras. Ci. Solo, 18:491- 497, 1994.

SANTOS, J.A.G., MOREAU, A.M.S.S., REZENDE, J.O; COELHO, I.A. Efeito da Aplicação de Cinza, Oriunda de Biomassa Vegetal, na Atividade Microbiana de um Solo Podzólico Amarelo Cultivado com Eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Resumos Expandidos, 2: 457-459,1995.

SCHLICHTING, A. F. Recuperação de pasto de capim marandu com cinza vegetal: características nutricionais. Tese doutorado. 147 f. Universidade Federal do Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Cuiabá, 2018.

SIRIKARE, N. S.; MARWA, E. M.; SEMU, E.; NARAMABUYE, F. X. Liming and súlfur amendments improve growth and yields of maize in Rubona Ultisol and Nyamifumba Oxisol. Acta Agriculturae Scandinavica, v. 65, n. 8, p. 713-722, 2015.

SMOL, M.; KULCZYKA, J.; HENCLICK, A.; GORAZDA, K.; WZOREL, Z. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. Journal of Cleaner Production, v. 95, n.1, p. 45-54, 2015.

VALCARCEL, A.; SILVA, Z. S. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. Revista FLORESTA. 1997.

WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and nontilled soil. Soil & Till. Res., 2:379-393, 1982

WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. The behaviour of roots encountering cracks in soil. I. Experimental methods and results. Plant Soil, 77:141-149, 1984.